# Krill de l'Antarctique

## Possibilités de transformation et de commercialisation des produits

par
**E. Budziński**
Société de pêche en haute mer
Gdynia, Pologne

**P. Bikowski**
et
**D. Dutkiewicz**
Institut des pêches maritimes
Gdynia, Pologne

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites

M-47

ISBN 92-5-202344-5

## PREPARATION DU PRESENT DOCUMENT

Le présent document a été préparé au titre des activités du Programme ordinaire de la FAO qui intéressent la situation et les perspectives mondiales de la pêche. Il s'agissait de faire une évaluation réaliste des possibilités de mise en valeur des ressources de krill compte tenu des progrès techniques et des résultats récents. Par le moyen de telles études, la FAO s'efforce de prévoir les développements susceptibles d'influencer la demande et l'offre futures de produits de la pêche. Les auteurs ont travaillé en consultation avec M. Z. Russek de l'Institut des pêches maritimes de Gdynia.

## RESUME

Il y a plusieurs années que l'on s'intéresse aux possibilités d'exploitation du krill et de nombreux documents ont été publiés à ce sujet. Néanmoins, rares sont ceux (les plus remarquables étant les rapports FAO préparés par Grantham en 1977 et par McElroy en 1980) qui envisagent tous les aspects économiques de l'exploitation du krill, de la capture à la transformation et à la commercialisation. Depuis les premiers rapports FAO, les recherches ont mis au jour de nouveaux éléments à prendre en considération pour l'évaluation des stocks de krill et la mise au point de techniques de transformation. Les progrès accomplis en ce qui concerne les procédés et le matériel de production de chair épluchée présentent un intérêt particulier, puisqu'il apparaît maintenant possible de produire des articles propres à la consommation humaine, acceptables par le consommateur. Toutefois, il y a encore des problèmes économiques et commerciaux à résoudre, et ce sont ces deux derniers aspects qui conditionneront à longue échéance la viabilité de l'exploitation du krill.

La présente étude, fondée sur la documentation disponible et sur des analyses nouvelles, tient compte des limitations imposées par les propriétés de la matière première et décrit les possibilités actuelles de transformation du krill en vue de la production commerciale d'articles destinés à la consommation humaine, à l'alimentation animale et à des utilisations industrielles. Elle indique également divers points de vue sur les problèmes de commercialisation et donne des exemples des coûts et des prix de produits dérivés du krill qui sont déjà fabriqués ou le seront probablement dans un proche avenir.

Distribution:

Département des pêches de la FAO
Fonctionnaires régionaux des pêches de la FAO
Directeurs des pêches
Sélecteur SM
Sélecteur "Aménagement des pêches"
Auteurs

La référence bibliographique de ce document doit être donnée ainsi:

Budzińeki, E., P. Bykowski et D. Dutkiewicz, 1986 Krill de l'Antarctique:possibilités de transformation et de commercialisation des produits. FAO Doc.Tech. Pêches, (268):49 p.

TABLE DES MATIERES

## 1. INTRODUCTION

Soucieux de trouver de nouvelles sources de protéines animales d'origine marine et de tirer parti des modifications des conditions d'accès aux fonds de pêche intervenues pendant les années soixante-dix, de nombreux pays ont commencé à s'intéresser de près aux possibilités d'utilisation commerciale des ressources de krill de l'Antarctique. Certains ont investi d'importants capitaux dans les opérations de navires de recherche et de navires commerciaux, ainsi que dans des laboratoires à terre, et ils ont recruté des spécialistes dans diverses disciplines.

De nombreuses études, habituellement limitées à quelques aspects de ce vaste sujet d'étude, ont été publiées. Rares sont celles qui examinent dans son ensemble la question de la mise en valeur des ressources de krill, des techniques d'exploitation à la mécanisation de la transformation et aux problèmes économiques et commerciaux. Les plus remarquables sont les rapports FAO préparés par Grantham en 1977 et par McElroy en 1980, pour dresser le bilan des progrès accomplis.

Dans la période suivant la publication de ces rapports, aucune idée originale n'a été lancée en ce qui concerne l'utilisation du krill. Toutefois, les projets de recherche menés à bien par divers pays ont fournit des données nouvelles pour l'évaluation des stocks et la mise au point de techniques de transformation. Le perfectionnement des procédés et de l'équipement de production de krill épluché au cours de cette période est d'autant plus important qu'il indique la possibilité d'obtenir des produits de consommation acceptables par le public.

Toutefois, la transformation et la commercialisation du krill posent encore des problèmes et, à longue échéance, la viabilité économique de l'exploitation de cette ressource dépendra de la manière dont ils seront résolus.

La présente étude, fondée sur la documentation disponible et sur des analyses nouvelles, tient compte des limitations imposées par les propriétés de la matière première et décrit les possibilités actuelles de transformation du krill en vue de la production commerciale d'articles destinés à l'alimentation humaine et animale, et à des utilisations industrielles. Elle indique également divers points de vue sur les problèmes de commercialisation, et sur les coûts et les prix de produits dérivés du krill qui sont déjà fabriqués ou le seront probablement dans un proche avenir.

## 2. EVALUATIONS DES STOCKS ET QUANTITES CAPTUREES, TECHNIQUES DE PECHE ET TAUX DE CAPTURE QUOTIDIENS

### 2.1 Evaluations des stocks et quantités capturées

*Euphausia superba* vit dans les eaux de l'Antarctique, entre les limites minimale et maximale d'extension de la calotte glaciaire, au sud de la convergence antarctique. Son habitat est circumpolaire. La biomasse a une aire de répartition variable à l'intérieur de cette zone immense.

Les évaluations des stocks de krill de l'Antarctique qui ont été effectuées depuis 1973 sont extrêmement variables, comme il ressort du tableau 1.

Tableau 1

Evaluations des stocks de krill

| Auteur | Stocks (millions de tonnes) |
|---|---|
| Lyubimova, Naumov et Lagunov (1973) | 800-5 000 |
| Marr (1962) cité dans Everson (1977) | 44,5 |
| Marr (1962) et Heyerdahl (1932) cités dans Everson (1977) | 521 |
| Gulland (1970) cité dans Everson (1977) | 750(375) |
| Doi et Kawamaki (1979) | 1 200 |
| Voronina (1983) | 60-100 |
| Kalinowski et Witek (1983) | 100-400 |

Les différences considérables entre ces estimations tiennent peut-être à l'utilisation de méthodes de calcul différentes. Néanmoins, la majorité des auteurs s'accordent à reconnaître que le volume des stocks est au minimum de 100 et au maximum de 500 millions de tonnes (Kalinowski et Witek, 1983).

Pendant les années quatre-vingt, un programme international de recherche sur le krill, intitulé BIOMASS, a été entrepris dans l'Antarctique. L'un de ses objectifs était d'évaluer les stocks de krill par des méthodes hydroacoustiques. Le projet reposait sur deux expériences, FIBEX et SIBEX. La première a eu lieu en 1981: elle a permis d'estimer à 78 millions de tonnes les stocks de krill de divers secteurs de l'Antarctique, sur une superficie totale de 4,54 millions de kilomètres carrés. Toutefois, ce chiffre est encore débattu par les experts de BIOMASS. En admettant que le krill ait une distribution uniforme et que son aire de répartition atteigne au total 16,2 millions de kilomètres carrés, la biomasse du krill dans l'ensemble de l'Antarctique en 1981 se serait établie à 270 ± 48 millions de tonnes (Kalinowski, 1983).

Il est très probable que, dans l'avenir immédiat, les évaluations des stocks de krill continueront d'être très variables. Néanmoins, même l'estimation la plus prudente justifie que l'on s'intéresse à ce crustacé qui pourrait être une source importante de protéines d'origine marine.

La détermination de la capture totale à autoriser suscite autant de controverses que l'évaluation des stocks. Les communications de Bogdanov et Lyubimova (1978) et de quelques experts de BIOMASS indiquent qu'un prélèvement égal à 10 pour cent de la biomasse ne devrait pas perturber l'équilibre écologique dans l'Antarctique. Mitchell et Sandbrook (1980) estiment que la capture autorisée pourrait être fixée à 2-5 pour cent de la quantité de krill actuellement consommée par les baleines. Gulland (1983) est d'avis que l'on pourrait prélever au moins 25 pour cent de la biomasse estimative du krill.

En vue d'aménager la pêcherie et conserver les ressources biologiques de l'Antarctique, une Convention pour la conservation de la faune et de la flore marines de l'Antarctique (CCAMLR) a été signée en 1980. Lors d'une réunion de représentants des Etats signataires de la Convention, tenue en septembre 1984 à Hobart (Australie), un groupe d'experts a précisé qu'aucune information n'avait encore été recueillie en ce qui concerne les effets de la pêche du krill sur sa biomasse. On a néanmoins recommandé de mettre en place un système d'observation et d'inspection des flottilles pêchant le krill et les poissons de l'Antarctique.

L'Annuaire statistique des pêches de la FAO, Vol. 54, 1982, donne les chiffres suivants pour les captures mondiales de krill au cours des dernières années:

| | |
|---|---|
| 1975 | 39 000 tonnes |
| 1976 | 3 000 tonnes |
| 1977 | 122 000 tonnes |
| 1978 | 142 000 tonnes |
| 1979 | 332 000 tonnes |
| 1980 | 477 000 tonnes |
| 1981 | 448 000 tonnes |
| 1982 | 530 000 tonnes |

In 1983 et 1984, les captures sont tombées à environ 250 000 tonnes (selon les informations fournies à la session CCAMLR tenue à Hobart en 1984).

## 2.2 Techniques de pêche

La pêche commerciale du krill, comme celle du poisson, est pratiquée dans les zones où il se concentre en masse. Deux types de concentrations ont été observés: les bancs très denses et les bancs dispersés. Le phénomène de la concentration n'est pas encore complètement expliqué, mais il est possible qu'il se produise pour des raisons mécaniques à la surface de discontinuité entre des masses d'eau s'écoulant à des vitesses différentes.

De même que d'autres espèces pélagiques vivant en bancs, le krill effectue des migrations verticales diurnes. La nuit, les essaims se dispersent et remontent vers la surface. Le jour, le krill vit en essaims denses au-dessous de la zone euphotique. La

majorité des captures sont effectuées dans les eaux superficielles (5-50 m), bien que l'on puisse également pêcher à de plus grandes profondeurs (100-300 m ).

Parmi les divers types d'engins de pêche qui ont été expérimentés jusqu'à maintenant, le plus efficace est un chalut pélagique spécialement conçu. Il est convenablement renforcé en doublant l'épaisseur du filet pour le ventre et la poche. Un fil fort et épais est utilisé pour le doublage extérieur à grande maille et des pièces d'alèze à petite maille sont posées à la partie intérieure. Il conviendrait d'adapter les modèles de chaluts pélagiques utilisés selon que les essaims de krill sont denses ou dispersés. Etant donné la faible profondeur de chalutage, il est nécessaire d'utiliser un filage de funes court pour le remorquage des chaluts; ce facteur, associé à la faible vitesse de traînée (deux-trois noeuds), rend difficile l'ouverture horizontale du chalut.

Outre des améliorations de la conception du filet, visant à accroître leur solidité et réduire la résistance à la traînée, on expérimente actuellement de nouvelles méthodes de relevage et de vidage des chaluts à krill. Un système de chalutage du krill consistant à remorquer parallèlement deux chaluts est à l'essai. On a montré qu'il permet de réduire la consommation d'énergie et d'accroître les taux de capture (Krepa, 1983).

Les techniques employées pour pêcher le krill sont généralement les mêmes que pour les poissons pélagiques. Comme le krill résiste mal aux agressions mécaniques, il n'y a guère intérêt à en ramener beaucoup en un seul trait de chalut car la matière première est écrasée lorsque le chalut est hissé à bord. En outre, la manutention à bord s'en trouve prolongée. Un relevage de longue durée entraîne également une perte de poids. Il faudrait s'efforcer d'organiser un cycle quotidien de capture tel que chaque trait ne ramène pas plus de 5 à 6 t et que les opérations de transformation puissent s'enchaîner sans interruption. L'emploi de pompes hydrauliques pour vider les chaluts permet d'éviter l'écrasement au cours du hissage à bord et de réduire les besoins de main-d'oeuvre. Toutefois, cette méthode n'est pas encore utilisée dans la pratique.

Un équipement hydro-acoustique approprié est nécessaire pour planifier les opérations quotidiennes. Il permet non seulement de déterminer l'emplacement, les concentrations de krill et les quantités qui seront ramenées dans le chalut, mais aussi de distinguer les concentrations d'autres organismes telles que les salpes et les méduses. Dans la pratique il n'est pas toujours possible de planifier et contrôler les captures quotidiennes en fonction de la capacité en matière première de l'installation de transformation; en effet, le rendement est différent selon que l'on pêche de jour ou de nuit. Dans le cas des chalutiers-usines polonais, on a pu observer que 60 à 80 pour cent des captures de krill sont faites pendant le jour (Krepa, 1983); toutefois, lorsque les bancs sont dispersés, les différences entre la production diurne et la production nocturne sont beaucoup moins marquées. L'excédent de krill capturé pendant le jour ne peut servir qu'à la production d'aliments pour animaux car la matière première se détériore. Les caractéristiques naturelles du fond de pêche et les conditions météorologiques peuvent également être à l'origine d'un approvisionnement irrégulier en matière première du dispositif de transformation installé à bord.

Les résultats obtenus jusqu'à maintenant par les bateaux de pêche de divers pays, notamment la Pologne, montrent que la situation et les perspectives en matière d'exploitation du krill ne dépendent pas des moyens disponibles pour la pêche, mais des solutions apportées aux problèmes de transformation et de commercialisation.

## 2.3 Taux de capture quotidiens

La banquise de la zone glaciale antarctique est le principal obstacle aux opérations de pêche. Son extension conditionne la durée de la campagne de pêche qui va en moyenne de la mi-novembre à la mi-avril, et peut atteindre sept mois ou même davantage lorsque les conditions météorologiques sont favorables. C'est ce qui a été confirmé des bateaux polonais qui ont effectué des essais et pêché jusqu'à la fin de mai.

Les taux de capture dépendent de nombreux facteurs notamment les types de concentrations de krill, la taille des bateaux et des engins de pêche, l'état des glaces et les conditions météorologiques, la capacité de transformation des bateaux, l'expérience de l'équipage, etc. La meilleure expression des résultats obtenus par un navire donné est la

capture moyenne par jour de pêche, autrement dit la quantité effectivement capturée par jour pendant la totalité du séjour sur les fonds de pêche. Dans de nombreuses publications, le taux de capture quotidien a été déterminé sur la base de la capture pratiquement réalisable en tonnes par heure. Cela a conduit à admettre l'hypothèse d'une capture moyenne par jour de pêche de 100-150 t ou même davantage pour l'ensemble de la campagne. Les inconvénients de cette méthode ont été notés (Eddie, 1977).

Dans le présent document, les taux de capture quotidiens moyens ont été calculés sur la base des résultats obtenus pendant la saison de pêche 1977 par trois chalutiers-usines polonais (voir section 5). Ces résultats ont été confirmés par d'autres bateaux polonais pour les années 1978-83.

Ces bateaux, aidés par le navire de recherche PROFESSOR SIEDLECKI qui a prospecté les fonds de pêche, ont opéré dans le secteur Atlantique de l'Antarctique entre 0° et 90° de longitude ouest, à proximité des fonds de pêche de la Géorgie du sud, des Orcades, de la terre de Graham et dans diverses parties de la mer de Weddell.

Les trois bateaux ont capturé au total 8 033 t de krill au cours de 139 jours de pêche, soit un taux de capture quotidien de 57,8 t par bateau (figure 1). Quelques traits ont ramené jusqu'à 10-20 t en 30-60 minutes de chalutage. Les taux de capture quotidiens ont parfois été si élevés qu'il a fallu arrêter les opérations de pêche parce que les soutes et les ponts disparaissaient sous le krill. De tels rendements ont néanmoins été rares et ne sont nullement typiques (Russek, Kasprzyk et Szostak, 1981).

Pour le calcul de diverses variables du coût de la transformation du krill à bord, on a supposé que le taux de capture quotidien moyen est de 50-60 t et que le bateau se trouve sur les fonds de pêche pendant 126-148 jours, dont 106 jours de pêche. Ces chiffres ne diffèrent pas beaucoup des chiffres correspondants actuels pour des bateaux d'autres pays. C'est ce que confirment les résultats des campagnes de pêche d'un grand chalutier-usine japonais (de 104,5 m de long) en 1981/82 et 1982/83; ce bateau a passé, respectivement, 144 et 134 jours dans la zone susmentionnée où il a pêché pendant 115 et 118 jours. La capture journalière moyenne à été de 51,5 t.

## 3. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU KRILL EN TANT QUE MATIERE PREMIERE

On ne saurait trop répéter que toute opération technique devrait être précédée d'une étude aussi approfondie que possible de la matière première. Malheureusement, ce n'est pas ce qui s'est passé au premier stade des recherches sur les possibilités d'utilisation du krill. Le problème du fluor peut être donné en exemple ici puisqu'il a empêché les progrès de la technologie.

Les résultats des recherches publiées dans le monde entier sur la composition chimique et les propriétés techniques du krill sont extrêmement variables. Cette remarque vaut en particulier pour les constituants chimiques labiles tels que les protéines, les lipides et les vitamines. Nous nous contentons de présenter ici les résultats et les points de vue qui introduisent de nouveaux éléments dont il n'a pas été fait état dans le rapport de Grantham (1977).

### 3.1 Composition chimique et propriétés biochimiques

#### 3.1.1 Protéines, enzymes

Aucune nouvelle observation importante n'a été faite dans ce domaine, car peu de recherches ont été effectuées sur la matière fraîche. Il a été confirmé que le krill frais contient une grande quantité de protéines hydrosolubles. Les données présentées au tableau 2 sont analogues à celles obtenues par Kolakowski (1982) qui a établi que les protéines sarcoplasmatiques représentent 58 pour cent du total, les protéines myofibrillaires 17 pour cent et l'azote non protéique 21 pour cent.

Le fait que les muscles du krill contiennent une importante proportion de protéines hydrosolubles a d'importantes conséquences sur le plan technique: au cours du décorticage du krill, il est nécessaire de l'arroser d'eau, ce qui a pour effet d'extraire les protéines des muscles et, par conséquent, d'abaisser les rendements. Des recherches ont été entreprises pour résoudre ce problème.

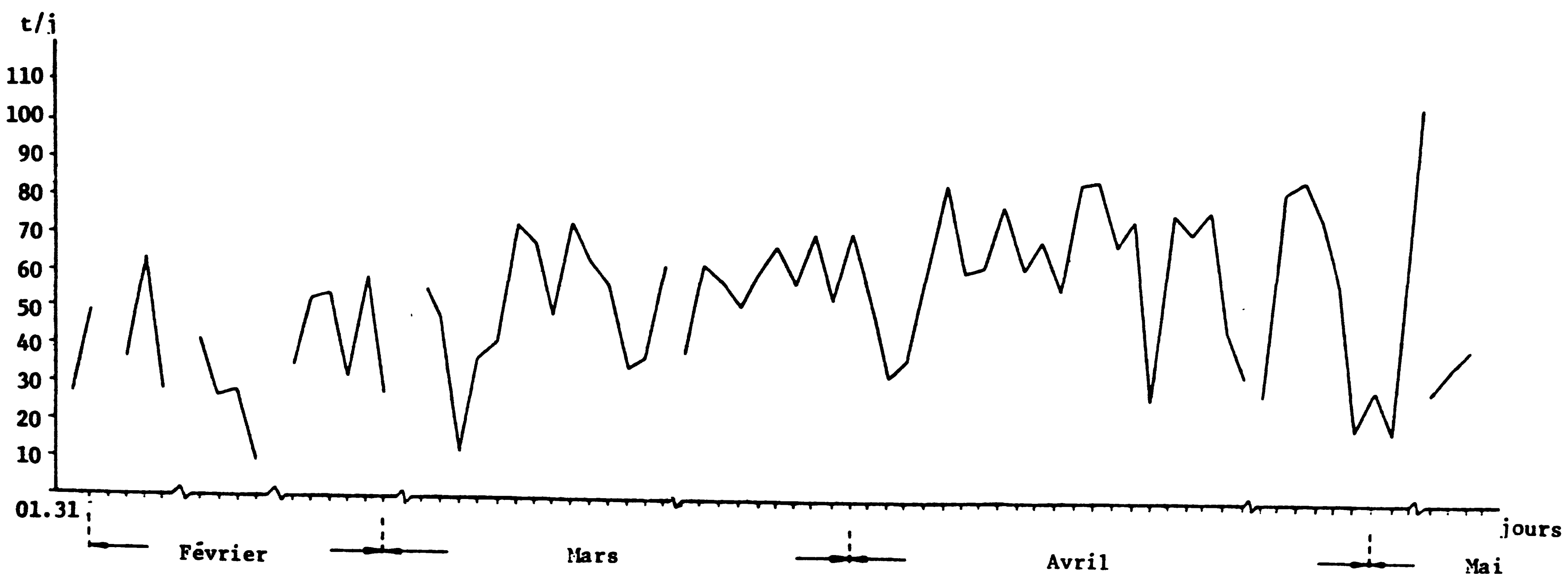



Figure 1 Captures quotidiennes moyennes de krill de trois bateaux en 1977 (en tonnes)

Tableau 2

Protéines contenues dans le krill frais entier
et dans la chair de la queue
(Shibota, 1979)

| | Protéines (pour cent) | |
|---|---|---|
| | Sarcoplasmatiques | Myofibrillaires |
| Krill entier | 6,1 ± 0,4 | 3,7 ± 0,4 |
| Chair de la queue | 5,0 ± 0,4 | 9,4 ± 0,8 |

La principale source de difficultés dans la transformation du krill est le système très actif d'enzymes protéolytiques. Pendant l'hydrolyse de la caséine, elles présentent deux larges maximums d'activité dans les intervalles de pH 6,5-7,5 et 9,3-10,4. Dans l'intervalle de pH 6-10,6, leur activité ne semble pas tomber au-dessous de 80 pour cent du maximum (Galas *et al.*, 1979; Bobrovskaya, Kardashev et Vaitman, 1981). Elle est par ailleurs fonction du sexe, de l'âge (taille), de l'état physiologique et de l'alimentation. Tous ces facteurs doivent être pris en considération lors de la transformation et de l'entreposage des produits du krill. Les protéases sont particulièrement actives dans les spécimens immatures, ce qui tient à l'intensité du métabolisme pendant la croissance (Mitskevitch et Mosolov, 1981). En utilisant des inhibiteurs spéciaux on a pu mettre en évidence trois types de protéases: des sérine-protéases, des métalloprotéases et, dans une moindre mesure, des protéinases à fonction thiol. Elles ont également été trouvées chez d'autres invertébrés (Mitskevitch et Mosolov, 1981). Au cours de l'entreposage frigorifique, l'activité protéolytique augmente car ces enzymes se diffusent de l'intestin dans le tissu musculaire, et la matière devient impropre à la transformation en produits alimentaires. La durée de conservation du krill congelé à -18°C est de trois mois seulement (Bidenko, Rasulova et Odintsov, 1981).

Konagaya (1980) a étudié la répartition des protéases dans l'organisme du krill. Il a constaté que plus de 95 pour cent de leur activité se concentre dans le céphalothorax, et les 5 pour cent restants dans la partie caudale. C'est pourquoi il est nécessaire d'éliminer le contenu du céphalothorax par centrifugation ou compression, ce qui empêche à un degré considérable les processus autolytiques affectant la matière première.

Des lipases très actives présentes dans le tube digestif du krill jouent également un rôle important: elles provoquent la décomposition des phospholipides et, dans une moindre mesure, des triglycérides. L'une des conséquences de leur activité est une augmentation de la teneur en acides gras non estérifiés (AGNE) (Ellingsen et Mohr, 1981; Galas *et al.*, 1979). La plus forte activité lipolytique est observée lorsque les intestins sont complètement remplis (Bobrovskaya, Kardashev et Vaitman, 1981).

3.1.2 Lipides

Les connaissances sur les lipides présents dans l'organisme du krill se sont considérablement enrichies depuis le rapport de Grantham. Le tableau 3 présente les résultats des recherches effectuées à ce sujet. Il a été confirmé que les classes fondamentales de lipides comprennent des phospholipides et des triglycérides, ainsi que des stérols et leurs esters. Un accroissement de la teneur totale en lipides s'accompagne d'une diminution de la teneur en phospholipides et d'une augmentation de la teneur en triglycérides. Il existe une corrélation presque linéaire entre la teneur en phospholipides et en triglycérides et la teneur totale en lipides, ce qui signifie peut-être que ces deux groupes ont un rôle de réserve énergétique (Ellingsen et Mohr, 1981).

La teneur en acides gras polyinsaturés diminue à mesure que la teneur totale en lipides augmente, ce que confirme la pratique industrielle. La teneur généralement élevée en acides gras non estérifiés (jusqu'à 31 pour cent des lipides totaux) résulte, selon Ellingsen et Mohr (1981), de l'activité des lipases et des phospholipases. Ces enzymes

Tableau 3

Part en pourcentage des classes fondamentales de lipides présentes dans l'organisme du krill (Rzhavskaya, 1981)

| | Teneur totale en lipides (pour cent) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,3 | 2,0 | 3,7 | 4,2 | 4,9 | 5,2 | 7,3 | 8,3 | 9,9 | 6,3[a] | 3,4[a] |
| Phospholipides | | | 29,2 | | | 18,2 | 22,0 | 24,3 | 13,4 | 12,8 | 31,0 |
| | 34,6 | 31,3 | | 19,9 | 20,8 | | | | | | |
| Monoglycérides | | | 2,6 | | | 3,0 | 6,2 | 2,2 | 2,0 | 2,4 | 8,6 |
| Triglycérides | 36,2 | 37,0 | 32,2 | 51,6 | 49,7 | 40,8 | 53,3 | 50,4 | 59,8 | 54,2 | 36,3 |
| Acides gras non estérifiés | 14,0 | 16,1 | 15,0 | 11,7 | 11,4 | 13,6 | 7,0 | 3,5 | 2,6 | 13,2 | 7,8 |
| Diglycérides | | | 2,8 | | | 3,2 | | 2,8 | 0,9 | 4,0 | 3,4 |
| | 8,3 | 9,6 | | 9,6 | 10,8 | | | | | | |
| Stérols | | | 8,6 | | | 8,4 | 5,6 | 8,2 | 6,8 | 5,6 | 5,6 |
| Stérides | 6,8 | 6,0 | 8,0 | 7,2 | 7,3 | 10,0 | 6,0 | 8,2 | 14,7 | 7,4 | 6,8 |

a/ krill en période d'alimentation

restent actives dans la matière première congelée à des températures extrêmement basses. D'après ces mêmes auteurs, la teneur naturelle en AGNE de l'organisme du krill est d'environ 4 pour cent.

La présence de cires a également été observée dans l'organisme d'*Euphausia superba* (Sawicki, 1979; Rybalkina *et al.*, 1981; Saether, Ellingsen et Mohr, 1983). Elle est l'une des caractéristiques d'*Euphausia crystallorophias* qui vit plus loin au sud. Les concentrations de lipides dans l'organisme du krill augmentent avec l'âge; après le frai, elle diminuent rapidement. Presque 70 pour cent des lipides se trouvent dans des membranes situées sous la carapace (Bidenko, Rasulova et Odintsov, 1981).

### 3.1.3 Le problème du fluor

L'étude publiée par Soevik et Braekkan en 1979 a conduit à revoir considérablement les idées antérieures en ce qui concerne les utilisations possibles du krill pour l'alimentation humaine et animale. Ces auteurs ont déterminé que la teneur en fluor du krill entier peut aller jusqu'à 2 400 ppm et que celle de diverses parties de son organisme est extrêmement élevée; ils en ont conclu que "le krill, sous quelque forme que ce soit, même décortiqué, ne remplit pas les conditions voulues pour être utilisable dans l'alimentation humaine".

Les auteurs de nombreuses publications ont ensuite confirmé que le krill a une teneur élevée en fluor, même en comparaison avec d'autres espèces animales de l'Antarctique (tableau 4). Christians et Leinemann (1980) et Christians, Leinemann et Manthey (1981) ont beaucoup contribué à éclaircir le problème. Ils ont démontré que, dans le krill congelé, le fluor migre de la carapace dans les muscles. Le processus peut être stoppé en abaissant la température à -40°C. En séparant préalablement les liquides organiques, on peut réduire la migration du fluor pendant la période d'entreposage frigorifique. On peut également stopper cette migration en faisant bouillir la matière première.

Au cours de la cinquième expédition polonaise dans l'Antarctique, entreprise par le navire de recherche PROFESSOR SIEDLECKI en 1981, on a montré que le muscle du pléon du krill fraîchement capturé contient environ 40 ppm de fluor (poids sec). L'existence d'une corrélation linéaire entre la teneur en carapace et la teneur en fluor a également été établie. Pour les études techniques, on s'est fondé sur l'hypothèse selon laquelle plus de 90 pour cent du fluor sont contenus dans la carapace chitino-minérale. Une technique de production de farine de krill à teneur réduite en carapace a été mise au point et les procédés d'obtention de chair de krill par épluchage sur rouleaux et par hachage ont été améliorés (Christians, Leinemann et Manthey, 1982; Bykowski, 1982).

Tableau 4

Teneur en fluor d'organismes animaux de l'Antarctique

| Espèce | F ppm (poids sec) | | | Référence bibliographique |
|---|---|---|---|---|
| | Animal entier | Carapace/ squelette | Muscle | |
| *Euphausia superba* - larves | 1 588 | | | Hempel et Manthey (1981) |
| | 2 400 | 4 260 | 570 | Soevik et Braekkan (1979) |
| | 1 950 | 2 840 | 325 | Schneppenheim (1980) |
| | 1 532 | | 75 | Christians et Leinemann (1980) |
| | 1 470 | | 42 | Bykowski, Kostuch et Kowakzuk (1981) |
| | | | 70-80 | Christians, Leinemann et Manthey (1981) |
| | | | 30-50 | Christians, Leinemann et Manthey (1982) |
| | 1 009 | | 70 | Boone et Manthey (1983) |
| | | | 90 | Bykowski et Dutkiewicz (1984) |
| Poissons: | | | | |
| *Micromesistius australis* | | 1 207 | 1,4 | Oehlenschlager et Manthey (1982) |
| *Notothenia gibberifrons* | | 1 156 | 1,3 | " " " |
| *Notothenia rossii marmorata* | | 964 | 2,2 | " " " |
| *Notothenia neglecta* | | 865 | 3,7 | " " " |
| *Chaenocephalus aceratus* | | 1 143 | 1,8 | " " " |
| *Champsocephalus gunnari* | | 616 | 1,9 | " " " |
| Phoques: | | | | |
| *Lobodon carcinophagus* | | 5 700 | 5 | Schneppenheim (1980) |
| Pingouins: | | | | |
| *Pygoscelis adeliae* | | 7 350 | 13 | Schneppenheim (1980) |

Toutefois, le problème du fluor conserve son intérêt pour les biologistes et les techniciens. Le mécanisme de fixation dans la carapace n'a pas été complètement expliqué, quoiqu'on ait pu l'associer aux mues fréquentes de ce crustacé (Bucholz, 1982). Il n'existe aucune publication au sujet de la reminéralisation du fluor à partir des exuvies et des animaux morts, ni au sujet des maillons qu'il occupe dans la chaîne alimentaire antarctique.

## 3.2 Modifications intervenant dans la matière première avant la transformation

Immédiatement après la capture, le nombre total de bactéries présentes dans le krill est très faible et ne dépasse pas quelques centaines à quelques milliers par gramme (Kelly, Lukaschevsky et Anderson, 1978; Ganowiak, 1979; Kartintsev, 1981). Les modifications qui interviennent rapidement dans le krill fraîchement capturé ne sont donc pas de type microbiologique.

Immédiatement après la mort, il se produit des modifications biochimiques liées les unes aux autres qui ont pour effet de réduire la qualité du krill destiné à la transformation. Il intervient notamment une autolyse (le produit dégoutte et dégage une odeur

désagréable), ainsi que des modifications de la texture et de la couleur. Dans les conditions moyennes de température de la zone de pêche (0°-5° C), la rigidité cadavérique survient au bout d'une heure et se prolonge pendant deux autres. Le krill fraîchement capturé est de couleur brique (rouge rosé) à rose. A travers la carapace presque transparente, on aperçoit la tache verte ou incolore de l'estomac. Dans les deux heures qui suivent, le krill devient opaque à commencer par le céphalothorax. La carapace devient brillante, la queue s'arque de manière caractéristique. Au bout de quatre à six heures, la coloration tourne au rose clair, puis au gris clair et les intestins deviennent foncés. Un liquide jaune-vert commence à dégoutter de la carapace.

Lorsque l'entreposage se prolonge, les tissus deviennent flasques et gluants; la carapace apparaît grise. Au bout de douze à seize heures, la décomposition bactérienne des tissus commence. Le principal responsable de ces modifications est le complexe susmentionné de protéases qui se concentrent dans le céphalothorax. L'odeur désagréable résulte également de modifications enzymatiques du phytoplancton, parmi lesquelles notamment la formation de diméthylsulfure.

Le noircissement du céphalothorax avait été attribué à l'activité de la tyrosinase, comme dans le cas d'autres crustacés. A l'heure actuelle, on pense que le processus est imputable à la catécholoxydase (Oshima et Nagayama, 1980).

Les études organoleptiques en vue de déterminer la qualité générale du krill - goût, odeur, texture - ont montré qu'au bout de trois à quatre heures de stockage à la température atmosphérique, les modifications sont si importantes que la matière première devient impropre à la transformation en produits alimentaires (Kolodziejski *et al.*, 1979; Smirnov, Boyadalinova et Andreev, 1981; Andreev, Bykov et Smirnov, 1981).

L'intensité et le rythme de progression de ces modifications dépendent de deux facteurs principaux. Des scientifiques soviétiques ont montré que la matière première provenant de traits de chalut volumineux (10-15 t) et de longue durée (1,5 heure) contient au bout de trois à quatre heures d'entreposage une proportion beaucoup plus forte de bases volatiles que la matière première provenant de traits de faible volume (jusqu'à 5 t) et de brève durée (1 heure) (Artiukhova et Kapitanova, 1981). Toutefois, lorsque les relevages sont contrôlés, ce facteur a beaucoup moins d'importance que la méthode de stockage avant la transformation.

Dans la pratique commerciale, on emploie deux méthodes de stockage: le stockage "à sec" à bord du navire ou dans des bacs, et le stockage dans de l'eau de mer réfrigérée ou de l'eau de mer. Avec la première méthode, la compression mécanique de la délicate matière première entraîne un égouttage important et une forte réduction du poids sec, avec notamment la perte de constituants précieux tels que les protéines. Par ailleurs, le stockage dans de l'eau de mer réfrigérée détermine une importante extraction de protéines hydrosolubles et un accroissement de la teneur en sel. La quantité de NaCl présente dans le krill double au bout de quatre heures (Schreiber *et al.*, 1981). Le seul avantage de la méthode est de faciliter le déchargement à partir des bacs et de réduire la prise en mottes de la matière première.

En fait, la matière première est plus fréquemment stockée "à sec" à bord du navire, généralement en couches de 50 cm d'épaisseur. En admettant que la densité du krill soit d'environ 0,9 $t/m^3$, le stockage en couches de 30 cm, qui permettrait d'éviter la détérioration, nécessiterait une superficie de 55 $m^2$: il n'est pas réalisable sur les bateaux de pêche actuellement utilisés.

Les modifications que subit la matière première étant mieux comprises, il est devenu possible d'énoncer plus précisément les principes à observer pour l'entreposage. Celui-ci doit être aussi bref que possible et ne doit absolument pas dépasser trois à quatre heures pour le krill destiné à la consommation humaine, et huit à dix heures pour le krill destiné à la production de farine. Pour que ces limites soient respectées, il faut employer des techniques de pêche permettant d'ajuster la quantité hissée à bord et équiper convenablement les bateaux en vue de la transformation, en installant des bandes transporteuses pour abréger le cheminement de la matière première jusqu'aux bacs.

3.3 Facteurs limitant les utilisations techniques de la matière première

3.3.1 Taille du krill

Etant donné le haut degré de protéolyse, le krill immature mesurant environ 34 mm ne peut pas être congelé. Sa durée de conservation à -18°C est de un mois seulement s'il est destiné à la production alimentaire. C'est pourquoi les traits de chalut ramenant 40 pour cent de spécimens de ce type sont destinés à la production de farine de krill (Bobrovskaya, ...rdashev et Vaitman, 1981).

La proportion représentée par la chair de la queue est fonction de la taille du krill. Lorsque l'on décortique manuellement des krills de 35 à 46 mm de long et davantage, le rendement en chair passe de 25 à 32 pour cent (Bidenko, Rasulova et Odintsov, 1981). Une corrélation analogue a été observée lors de l'épluchage mécanique (Bykowski et Dutkiewicz, 1984). La qualité des produits en conserve préparés à partir de la pâte coagulée "Ocean" était moins bonne lorsque les krills utilisés étaient de petite taille (jusqu'à 35 mm de long) (Artiukhova et Kapitanova, 1981). Après la décongélation, l'égouttage est beaucoup moins important si le krill est de grande taille que s'il est petit (Susuki, 1981).

Le problème du triage mécanique du krill n'est pas encore résolu et des essais de classement par qualité ont été infructueux. La question est de savoir comment déterminer la taille du krill de manière à pouvoir l'utiliser correctement. Des méthodes rapides donnant une mesure approximative de la taille du krill sur la base de la corrélation entre la longueur et le volume des spécimens ont été élaborées (Kolodziejski *et al.*, 1979; Bidenko, Rasulova et Odintsov, 1981).

3.3.2 Teneur en phytoplancton

Le krill se nourrit de phytoplancton qui s'accumule dans la cavité thoracique et l'appareil digestif. Le phytoplancton est responsable de la coloration de la tête et du céphalothorax et de la détérioration des propriétés organoleptiques du produit brut. Le krill "vert" en période d'alimentation intensive est impropre à la transformation en produits hachés (Bykov et Ya Storozhuk, 1981). La pâte "Ocean" coagulée était de couleur verte à grise en raison de la présence de chlorophylle dans le phytoplancton. Les produits en conserve fabriqués à partir de krill en période d'alimentation sont de qualité inférieure (Artiukova et Kapitanova, 1981). En Pologne, on distingue trois qualités de krill, destinées à des utilisations techniques diverses, sur la base de la taille et des conditions d'alimentation (tableau 5).

Tableau 5

Utilisations techniques du krill selon les conditions d'alimentation et la taille (Kolodziejski *et al.*, 1979)

| Qualité | Conditions d'alimentation | Taille (en mm) | Utilisations techniques |
|---|---|---|---|
| A | Absence d'alimentation | 46 | Se prête à toutes les applications |
| B | Alimentation modérée | 37-46 | Se prête à toutes les applications; pour la fabrication de produits destinés à la consommation humaine, l'éviscération est souhaitable. |
| C | Alimentation intensive | 46 | Impropre à la fabrication de produits destinés à la consommation humaine; propre à la fabrication d'aliments pour animaux |

### 3.3.3 Eviscération

La transformation de krill non vidé donne des produits de qualité inférieure, qui peuvent être déclarés impropres à la consommation. On estime maintenant que l'éviscération est nécessaire pour la fabrication de produits hachés. Cette opération peut être réalisée par centrifugation ou par application d'une compression légère: les deux méthodes produisent le même résultat, à savoir l'élimination des intestins et du phytoplancton. En outre, la teneur en graisses est réduite d'environ 30 à 40 pour cent, ce qui est souhaitable pour certaines utilisations. L'avantage de l'éviscération ressort de la réduction considérable de l'activité enzymatique dans la matière première (Kolodziejski *et al.*, 1979).

### 3.3.4 Problème des captures accessoires

Les captures accessoires (salpes, méduses, juvéniles et larves de poissons), qui représentent souvent plus de 20 pour cent de la quantité ramenée dans un trait de chalut, rendent plus difficiles les opérations de transformation du krill. Si celui-ci est pêché en vue de la consommation humaine, il faut effectuer un tirage manuel et, dans des cas extrêmes, rechercher un autre fond de pêche.

## 4. OPTIONS POSSIBLES EN MATIERE DE TRANSFORMATION DU KRILL

### 4.1 Krill congelé, bouilli-congelé et séché

Exception faite des marchés asiatiques, les perspectives de commercialisation du krill congelé ou bouilli-congelé ne sont pas très prometteuses. Néanmoins, des produits de ce type ont été mis en vente avec succès pour l'alimentation des animaux à fourrure. Seul le krill entreposé "à sec" avant la congélation peut être utilisé à cet effet, car la matière première stockée dans de l'eau de mer réfrigérée contient ensuite beaucoup trop de sel.

Dans certains pays d'Asie (Japon, République de Corée, Taïwan) où les euphausiidés entrent dans le régime alimentaire traditionnel, on s'est beaucoup intéressé au krill congelé. Des tentatives ont été faites pour prévenir les altérations qualitatives du krill après la décongélation en utilisant divers polyphosphates et de l'érythorbate de sodium (Jiang, 1980). Au Japon, le krill oeuvé de grande taille est considéré comme un met délicat. Il faut le faire bouillir à 90°C pendant cinq minutes environ avant de le congeler, en vue d'éviter le noircissement et l'autolyse après la décongélation. Les krills sont congelés individuellement et glacés, ou congelés en bloc et glacés. Lorsque le produit est mis à bouillir, il se dégage des substances qui produiraient des odeurs désagréables après la décongélation: ce sont habituellement des composés tels que le cabonyl, les hydrocarbures aliphatiques et le diméthylsulfure. Un produit de distillation avec de la vapeur d'eau contenait une grande quantité de pyrazine (Kubota *et al.*, 1980; 1981). Toutefois, la disparition de l'arôme distinctif peut être considérée comme un défaut dans certaines régions d'Asie.

Les euphausiidés séchés, y compris le krill de l'Antarctique, sont aussi un aliment populaire en Asie. Les Japonais préfèrent le krill séché au krill frais. Les produits partiellement séchés (environ 50 pour cent d'eau), doivent être entreposés à moins de 0°C. Ils ont une texture et une odeur plus agréables que les produits complètement séchés. L'éviscération est recommandée avant le séchage (Susuki, 1981).

### 4.2 Produits hachés

Lors des premières études sur la transformation du krill, on s'efforçait de mettre au point une technologie simple permettant de produire en abondance des articles de qualité. En URSS, en Pologne, en République fédérale d'Allemagne et en République de Corée, l'intérêt s'est surtout concentré sur des articles tels que la pâte coagulée et les produits hachés.

#### 4.2.1 Pâte coagulée

Le premier article lancé sur le marché en URSS et, plus tard, dans d'autres pays, était une pâte coagulée appelée "Ocean". Elle fut tout d'abord fabriquée à bord des navires soviétiques et, à terre, par la chaîne de production de l'AKP Vniro. La capacité de transformation de cette dernière était d'environ 1 000 kg de krill à l'heure; le rendement était fonction de la taille du krill et allait de 30 à 40 pour cent.

Le procédé consistait à extraire le jus protéique du krill à l'aide d'une presse à vis, coaguler thermiquement ce jus, séparer les protéines coagulées du liquide, refroidir la pâte, la congeler et l'emballer. Il était simple en apparence, mais le produit obtenu avait beaucoup de défauts graves, car les propriétés de la matière première étaient encore mal connues et la technologie insuffisante. La principale raison de la réduction de la production en URSS et de l'arrêt des travaux entrepris en Pologne et en République fédérale d'Allemagne en vue d'améliorer le mode opératoire fut la médiocre qualité organoleptique du produit. En outre, la pâte était produite à partir de krill "vert" en période d'alimentation intensive, le résultat étant une altération de la coloration du produit qui prenait une teinte verte à grise, dégageait une odeur désagréable et avait un goût d'herbe (Bykov et Ya Storozhuk, 1981).

Pour satisfaire aux exigences organoleptiques et sanitaires, il est nécessaire de procéder à quelques opérations supplémentaires, par exemple détacher la carapace où se concentre la plus grande partie du fluor. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des séparateurs Baader ou Bibun (diamètre de l'orifice du tambour: 0,8-1,2 mm) ou des séparateurs-épurateurs centrifuges.

La température de coagulation a une grande influence sur la qualité du produit. On pense que l'optimum se situe entre 80° et 90° C; à des températures plus élevées, la pâte noircit (Artiukhova et Kapitanova, 1981; Schreiber *et al.*, 1981). La masse coagulée doit être rapidement refroidie. L'utilisation de transporteurs à vis avec chemise d'eau donne des résultats médiocres. Un refroidissement rapide à la température de 10° C peut être obtenu en une à trois minutes dans un "refroidisseur instantané" du type utilisé dans une chaîne de production modèle en Norvège (Rieber et Son). Pour éliminer les odeurs désagréables au cours de l'ébullition, il est nécessaire de séparer les purges thermiques aussi complètement que possible. A cet effet, on peut utiliser des tamis ou des décanteurs vibrants ou rotatifs. Il faut homogénéiser le produit avant l'emballage afin de lui conférer une coloration uniforme et séparer les mottes de pâte coagulée.

Caractéristiques du produit

Selon les données soviétiques, la pâte coagulée de meilleure qualité est obtenue à partir de matière première provenant de traits de chalut de 10 t, traitée dans les deux heures suivant la capture. Le produit est alors de couleur rose à rose foncé et il a une consistance grumeleuse ressemblant à celle de la caillebotte. Il a également le goût et l'odeur marqués caractéristiques des crustacés. La pâte coagulée produite à partir de matière première de qualité inférieure, c'est-à-dire qui a été stockée pendant plus de deux heures, dégage une odeur de farine de poisson (Artiukhova et Kapitanova, 1981).

La composition chimique de la pâte coagulée est extrêmement variable selon la qualité de la matière première et les paramètres du procédé de transformation (tableau 6). Sa valeur biologique et nutritive est élevée et comparable à celle du poisson (tableau 7). Conformément aux normes soviétiques, la durée de conservation de la pâte coagulée à -18°C est de 12 mois.

Articles fabriqués

La pâte coagulée est vendue depuis dix ans en URSS, pays qui a le plus d'expérience en matière de commercialisation de ce produit. A la fin des années soixante-dix, la production était de 2 000 t par an, mais elle a diminué (Karnicki, 1979). Quoique des articles très divers aient été fabriqués (conserves, pâte, salades, beurre de crevettes, fromage avec pâte), le problème de la commercialisation n'a pas été véritablement résolu en URSS. En Pologne, les propriétés organoleptiques de la pâte coagulée produite à bord des bateaux de pêche ont été jugées mauvaises. On a fabriqué divers produits contenant plus de 10 pour cent de pâte coagulée et leur qualité a été jugée satisfaisante (Brzozowska *et al.*, 1979).

4.2.2 Hachis de krill

En 1978, une technique de production de hachis de krill a été mise au point simultanément en Pologne et en République fédérale d'Allemagne. Elle diffère du processus de fabrication de pâte coagulée en ceci que la matière première est précuite. Elle permet d'entreposer davantage de matière première, la précuisson permettant un stockage de plus longue

Tableau 6

Composition chimique des produits à base de krill haché

| | Poids sec | Protéines brutes | Lipides | Cendres | Carapace | Référence bibliographique |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pâte coagulée | 26,2 ± 0,4 | 16,7 ± 0,2 | 6,6 ± 0,3 | 1,8 ± 0,01 | 0,46 ± 0,02 | Markowski (1979) |
| | 26,3 | 15,6 | 6,3 | 2,8 | - | Schreiber *et al.* (1981) |
| | 25-35 | 14-20 | 3-10 | 1,7-3,0 | - | Lagunov *et al.* (1981) |
| Hachis | 25,2 ± 0,3 | 14,2 ± 0,2 | 8,7 ± 0,6 | - | 0,39 ± 0,02 | Marckowski (1979) |
| | 23,1 | 13,3 | 5,0 | - | - | Schreiber *et al.* (1981) |
| Précipité | 26,6-28,8 | 18,1-19,7 | 4,5-7,0 | - | 0,02-0,07 | Kolakowski *et al.* (1984) |

Tableau 7

Valeur biologique de la pâte et du hachis de krill
(Piekarska *et al.*, 1979)

| | Utilisation protéique nette (UPN) | Coefficient d'efficacité protéique (CEP) | Digestibilité dans la pepsine |
|---|---|---|---|
| Pâge coagulée | 84 | 2,82 | 91,3 |
| Hachis | 75 | 2,66 | 89,6 |

durée. Le rendement est élevé puisqu'il est de 50 pour cent et de 40 pour cent si la matière première est éviscérée. Dans le procédé polonais, la carapace est éliminée en deux étapes. Une séparation grossière est tout d'abord obtenue dans un séparateur dont le tambour a un orifice de 3 à 4 mm, puis une séparation plus fine dans un tambour équipé d'un double tamis à mailles de 0,5-1 mm. Toutefois, le hachis de krill n'a jamais été produit commercialement en Pologne.

Caractéristiques du produit

Le hachis de krill se présente comme une pâte rose épaisse dont la couleur tourne au brun si la matière était de qualité inférieure. Il dégage une forte odeur de crustacé et en a la saveur douce. Ses qualités organoleptiques ont été jugées assez bonnes, mais sans rien d'exceptionnel. Le tableau 6 montre la composition chimique du hachis. La valeur biologique (indices UPN et CEP - voir tableau 7) est légèrement inférieure à celle de la pâte coagulée.

Utilisation

Etant donné ses caractéristiques fonctionnelles - faible capacité d'émulsion des graisses, inaptitude à fixer l'eau et pH élevé - le hachis de krill est d'un intérêt pratique limité. En Pologne, des plats contenant jusqu'à 10 pour cent de hachis de krill ont été acceptés par le consommateur, mais ils ont été moins appréciés que les mêmes plats préparés avec de la pâte coagulée (Brzozowska *et al.*, 1979). Un grand nombre de recettes utilisant le hachis de krill ont été préparées en République fédérale d'Allemagne, notamment des saucisses fermentées, des soupes, etc. (Christians, 1980; Schreiber *et al.*, 1981).

4.2.3 Précipité de krill

Un procédé nouveau de fabrication de précipité de krill, produit qui ressemble au hachis, a été breveté en Pologne (Kolakowski, Fik et Gajowiecki, 1977). Il fait appel aux propres enzymes du krill (Kolakowski *et al.*, 1980; 1980a; Kolakowski et Lachowicz, 1982). L'autoprotéolyse des protéines musculaires du krill conduite dans des conditions contrôlées (température d'environ $50^{\circ}C$; pH de 6,9 à 7,4) provoque une hydrolyse rapide des protéines. Il se forme des produits à granulométrie fine, impossibles à précipiter thermiquement. Dans cette technologie, l'autoprotéolyse contrôlée détermine une extraction accélérée des protéines et aboutit à une réduction de viscosité du mélange krill-eau. Cela permet une bonne séparation des constituants liquides et de la carapace dans un épurateur centrifuge (Kolakowski *et al.*, 1984). La phase protéique liquéfiée est coagulée thermiquement à $90^{\circ}C$ environ pendant trois à quatre minutes, homogénéisée et congelée en blocs.

En 1983, des essais semi-techniques de production de précipité de krill ont été effectués à bord d'un chalutier-usine polonais. Les paramètres du processus d'autoprotéolyse ont été définis plus précisément (tableau 8). Le rendement a été de 425 kg par tonne de matière première. Le tableau 6 montre la composition fondamentale du précipité. Les principaux avantages du procédé sont la très bonne séparation de la carapace et, par suite, la faible teneur du précipité en fluor, le débit élevé et la très faible consommatio d'énergie. Le produit obtenu est rose-rouge, il a une légère odeur de crustacé, un goût agréable et la consistence des produits de lait caillé. Les articles qu'il est possible de préparer sont les mêmes qu'avec le hachis de krill.

Tableau 8

Paramètres du processus d'autoprotéolyse
(Kolakowski *et al.*, 1984)

| Variante | Eviscération | Krill/eau | Température °C | Temps (minutes) | 1/minutes |
|---|---|---|---|---|---|
| A | + | 3:1 | 35 ± 5 | 30 - 45 | 45 - 65 |
| B | + | pas d'eau | 35 ± 5 | 60 - 75 | 45 - 65 |
| C | - | 6/7:1 | 30 - 45 | 45 ± 15 | 60 - 70 |
| D | - | pas d'eau | 40 - 45 | 60 ± 15 | 50 - 60 |

4.3 Chair intacte de la queue

Selon les spécialistes de nombreux pays, la chair de la queue est le meilleur produit alimentaire qui puisse être tiré du krill, quoiqu'il soit le plus difficile à obtenir. Grantham (1977) s'est exprimé ainsi: "Les produits de plus haute valeur marchande qu'il sera possible d'obtenir à partir du krill seront probablement dérivés de la chair intacte de la queue débarassée de la carapace". Vers la fin des années soixante-dix, des progrès notables ont été accomplis dans la mise au point de techniques et d'équipement de producti de chair décortiquée. Les principaux pays qui ont effectué des recherches dans ce domaine sont le Danemark, le Chili, le Japon, la Pologne, la République fédérale d'Allemagne, les Etats-Unis et l'URSS. Ces travaux ont permis de mettre au point trois méthodes principale pour la production de chair de krill: épluchage sur rouleaux; attrition du krill bouilli- ... du krill et flottation des carapaces.

L'équipement et les techniques nécessaires ont été mis au point pour chacun de ces procédés. Dans certains cas, les travaux ont été arrêtés car le produit final était de mauvaise qualité, tandis que, dans d'autres projets, on en est encore au stade de l'expérimentation de prototypes. La chair de krill et les produits dérivés sont apparus sur les marchés de certains pays, quoiqu'en quantités relativement modestes. Il est difficile de faire une évaluation générale des progrès accomplis en ce qui concerne les méthodes et le matériel de production de chair de krill, car il n'y a pas eu beaucoup de publications sur la question.

4.3.1 Epluchage sur rouleaux

Il consiste à entraîner la carapace dans une fente entre deux rouleaux tournants. Sous l'effet du frottement, le muscle se détache de la carapace qui, en même temps que la tête et les intestins, passe à travers la fente et est ainsi éliminée. La chair reste dans la fente et tombe à l'extrêmité des rouleaux. La surface des rouleaux doit être vaporisée d'eau.

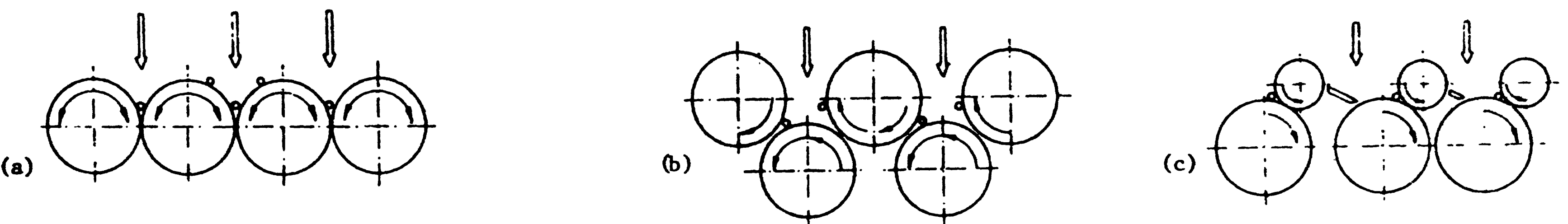
Au cours des années 1975-79, des essais ont été effectués au Chili, en Pologne et en République fédérale d'Allemagne pour déterminer s'il était possible d'utiliser pour l'épluchage du krill les machines Laitram et Skremetta employées pour l'épluchage des crevettes. Toutefois, les expériences ont montré que cet équipement n'était pas utilisable pour le krill; la faible capacité en matière première et les grandes dimensions de ce matériel rendaient impossible son utilisation à bord des bateaux de pêche (Schreiber, 1981; Bykowski, 1982). Quoiqu'il en soit, ces expériences sont inspirées de nouvelles idées pour l'épluchage du krill.

L'équipement et ses paramètres

Le Japon, la Pologne et les Etats-Unis ont construit des machines plus petites et moins lourdes, mais ayant une plus grande capacité en matière première que les machines à éplucher les crevettes qui avaient été expérimentées (voir figure 2). Les différences portent sur le sens d'arrivée de la matière première (le long des axes des rouleaux ou perpendiculairement à ceux-ci), le diamètre des rouleaux et la matière employée pour les fabriquer, le type de révolution (constante ou alternative), la présence ou l'absence de table de nettoyage, la méthode d'acheminement et de ratissage de la matière première sur les rouleaux. On utilise pour l'épluchage des rouleaux d'acier inoxydable et poli, ou bien un rouleau peut être recouvert de caoutchouc ou de plastique. Les rouleaux ont 25-65 mm de diamètre et 450-1 200 mm de long. La fente qui les sépare a 0,1-0,5 mm de large. La révolution peut être constante ou alternative, l'angle de rotation étant dans ce deuxième cas de 240°C. Le nombre de révolutions par minute peut être ajusté entre 27 et 200. L'angle d'inclinaison des rouleaux va de 9° à 30°. Les trains de 10 à 30 rouleaux sont disposés en rangées de trois ou quatre.

En 1979, des prototypes construits par la Laitram Company (Etats-Unis) et par l'Institut des pêches maritimes (Pologne) ont été expérimentés à bord du navire de recherche polonais PROFESSOR SIEDLECKI. Le débit des machines s'est révélé médiocre et le produit contenait une forte proportion de carapace. La faible efficacité de l'épluchage avec la machine américaine était due au fait que le krill était introduit perpendiculairement aux rouleaux. On ne possède aucune information sur les améliorations apportées à ce prototype. La machine polonaise a été améliorée au cours des expéditions consécutives. L'entreprise de pêche hauturière Dalmor, de Gdynia (Pologne), a commandé une série de ces machines à la société Techmet de Gdansk. Plusieurs sociétés japonaises ont également construit des machines à éplucher le krill utilisant le système des rouleaux.

Les prototypes existants pour l'épluchage du krill sont plus petits que pour les crevettes. Par exemple, les machines japonaises mesurent (L x B x H) 100 x 1 100 x 800 mm et 1 750 x 1 200 x 1 800 mm; la machine polonaise mesure 1 600 x 1 400 x 1 800 mm. Un dispositif complet d'épluchage du krill comprend également l'équipement auxiliaire: pompes, dispositifs d'amenée de la matière première, bandes transporteuses. L'ensemble occupe une superficie double de celle de l'éplucheuse elle-même. Il est néanmoins possible d'installer six à huit éplucheuses avec leur équipement auxiliaire sur un chalutier-usine typique. La consommation d'eau de mer d'une éplucheuse est de 200-3 000 litres à l'heure et il est en outre nécessaire de rincer la chair de krill dans de l'eau douce (rapport 1:1). Les éplucheuses sont actionnées par des moteurs ayant une puissance totale d'environ 2,5 kW. Les machines ne demandent pas beaucoup d'entretien et des révisions périodiques sont suffisantes.



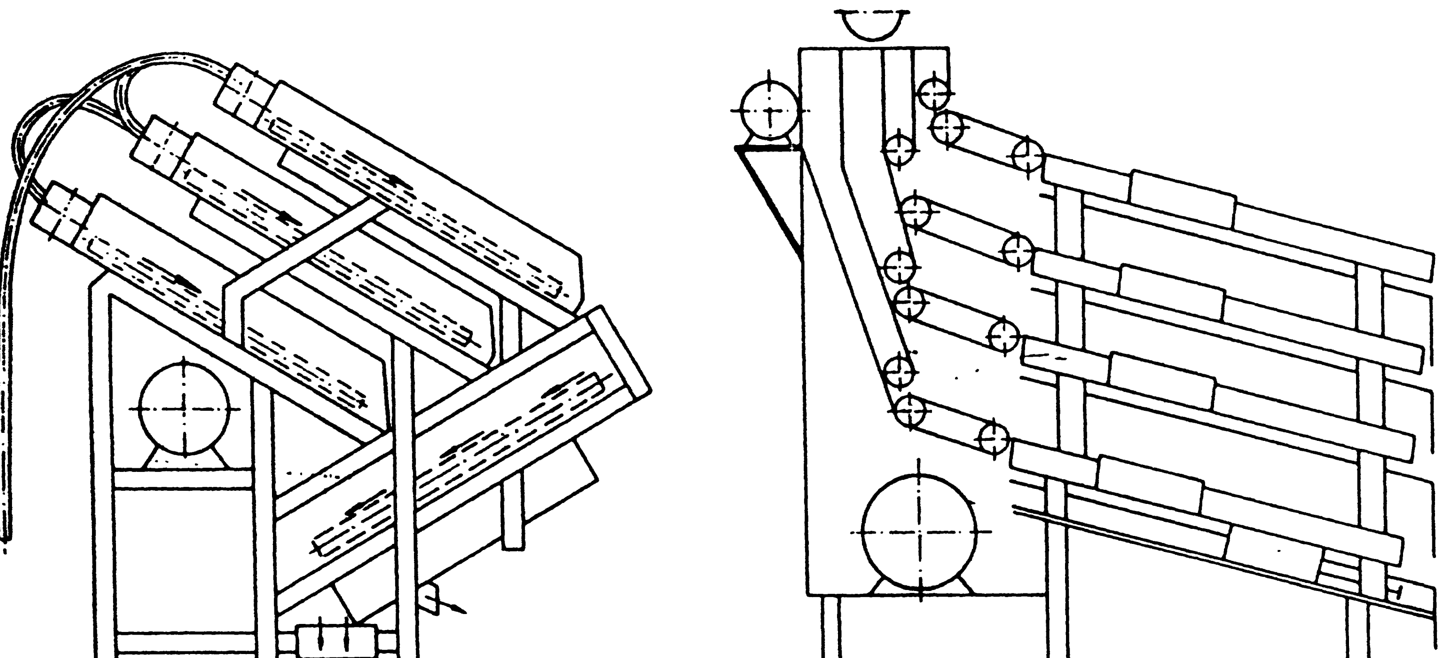



Figure 2  Représentation schématique des éplucheuses à rouleaux utilisées pour le krill

(a) machines fabriquées en Pologne; (b) machines fabriquées au Japon

(c) dispositif de rouleaux tournant constamment dans le même sens, utilisé dans d'autres types d'éplucheuses

Capacité en matière première et rendement

La capacité en matière première des machines existantes va, selon les données japonaises, de 350 à 400 kg/h et, selon les données polonaises, de 350 à 500 kg/h (Bykowski et Dutkiewicz, 1984). Elle est fonction de la taille du krill et de sa fraîcheur, ainsi que des caractéristiques techniques de l'éplucheuse (nombre de rouleaux et de trains de rouleaux). Le rendement en chair est de 10 à 25 pour cent, selon la taille du krill. Le mode d'introduction de la matière première dans l'éplucheuse a également une grande influence sur le rendement. Le produit obtenu avec les machines polonaises contient moins de 0,1 pour cent de carapace, ce qui signifie que le fluor représente moins de 100 ppm du poids sec de la chair. Le degré d'efficacité de l'épluchage, mesuré par la teneur en carapace du produit, est fonction de la résistance de la liaison entre la carapace et le muscle. Pour affaiblir ces liens, il est nécessaire d'introduire une opération supplémentaire appelée conditionnement avant épluchage. On continue d'étudier ce problème en vue d'améliorer la qualité du produit et d'accroître la productivité.

Qualité du produit

La chair de krill crue a une couleur rose clair et un aspect vitreux; elle a une odeur agréable, une texture élastique et une saveur douce de crustacé. Après rinçage dans l'eau douce, elle reste légèrement salée (Schreiber, 1981). Après le blanchiment, elle se rétracte et prend la forme de grains de riz allongés. Sa couleur est d'un rose blanchâtre, elle a une saveur et une odeur légères de crustacés et une texture ferme (tableau 9). Sa composition chimique est indiquée au tableau 10. Sa composition en acides aminés est très bien équilibrée. Etant donné la faible teneur en lipides du produit, il peut être stocké à la température de -25°C pendant 12 mois. La chair contient 5-7 pour cent de plus d'eau que la matière première, ce qui s'explique par sa forte capacité de rétention de l'eau. En conséquence, il y a des pertes importantes par égouttement au cours de la décongélation (la quantité égouttée représente environ 33 pour cent du poids) et au cours du blanchiment. La chair de krill est propre à la consommation après avoir été chauffée à environ 50°C. A des températures plus élevées, les propriétés organoleptiques, en particulier le goût, l'odeur et la texture, se dégradent et il y a un égouttement plus important (Bykowski et Kolodziejski, 1983).

Tableau 9

Evaluation organoleptique de divers types de chair de krill
(Bykowski et Dutkiewicz, 1984; Dunajski et Grabowska, 1979)

| | Méthode de décorticage | | |
|---|---|---|---|
| | Attrition | Broyage | Epluchage sur rouleaux[a] |
| Aspect | Couleur rose clair; présence de granules bien visibles, avec des résidus de céphalothorax et de tube digestif | Couleur blanche à rose clair; absence ou présence de fragments d'yeux et de carapace | Coloration blanc-rose; muscles petits et entiers avec des signes de contraction |
| Goût | Salé, analogue à celui des autres crustacés | Neutre | Aigre-doux, analogue à celui des autres crustacés |
| Odeur | Analogue à celle des autres crustacés; ressemble à celle des graines bouillies de légumineuses | Imperceptible ou faiblement perceptible, analogue à celle des autres crustacés ou des algues de mer | Peu intense, faiblement perceptible, ressemblant à celle des oeufs bouillis |
| Consistance | Délicate, douce; juteuse à la première impression, elle apparaît ensuite fibreuse-cotonneuse | Difficile à mâcher, produit peu juteux | Produit compact, élastique, délicat, juteux |

a/ Après blanchiment à 50°C

Tableau 10

Composition chimique de la chair de krill obtenue par diverses méthodes
(en pour cent du poids frais)
(Dynajski et Grabowska, 1979; Markowski, 1979; Bykowski *et al.*, 1980)

| | Méthode | | |
|---|---|---|---|
| | Epluchage sur rouleaux | Attrition | Broyage |
| Poids sec (%) | 14,0-16,0 | 19,0-24,0 | 23,1-28,6 |
| Protéines (Nx6,25) % | 12,0-14,0 | 13,3-16,6 | 20,5-22,8 |
| $N_{np}/N_{tot}$ | 0,17-0,21 | 0,14-0,15 | 0,02-0,03 |
| Lipides | 1,0-1,1 | 2,9-4,6 | 1,8-2,1 |
| Cendres | 1,3-2,3 | 1,8-2,9 | 1,3-1,5 |
| Chlorures | 1,1-2,1 | 1,6-2,4 | 0,8-0,9 |
| Carapace | 0,1-0,2 | 0,4-0,6 | 0,08-0,28 |
| F mg/kg | 15 | 90 | 35 |

Articles fabriqués

Les protéines de la chair de queue de krill conservent leurs propriétés fonctionnelles (aptitude à émulsionner les graisses et à gélifier) après la décongélation. La chair de la queue peut donc servir à la préparation de toute une variété d'articles et elle peut être mélangée avec de la chair et/ou du hachis de poisson ou d'autres crustacés. La chair elle-même peut être mécaniquement mise en forme sans employer de liants (Anon., 1983). De la chair de krill de production polonaise a été utilisée aux Etats-Unis pour préparer des produits divers dont la qualité a été jugée très bonne: steaks de poisson haché additionné de chair de krill, ragoûts, soupes, sauces, pâtés. En Pologne, on a préparé des conserves de chair de krill en saumure analogue à celle de crevette et ce produit a aussi été jugé très favorablement par des experts scientifiques soviétiques (Bykowski et Dutkiewicz, 1984) Des baguettes de krill panées découpées dans des blocs congelés ont été très appréciées au Chili, en République fédérale d'Allemagne et en Pologne (Grantham, 1977; Schreiber *et al.*, 1979). En Pologne, un cocktail très savoureux ressemblant au cocktail de crevettes a été fabriqué en utilisant de la chair de krill.

4.3.2 Epluchage par attrition

Cette méthode d'épluchage a été utilisée au Japon, en Pologne et en URSS. Au Japon, la carapace était détachée en projetant les krills individuellement congelés dans une chambre à basse température où ils s'écrasaient contre des éléments minuscules. En URSS, le produit a été obtenu par attrition du krill bouilli-congelé contre les parois rugueuses de la machine. Une méthode analogue a été utilisée en Pologne: le dispositif utilisé pour user par frottement la carapace du krill bouilli-surgelé (individuellement ou en blocs) comprenait des disques tournants et un coffrage perforé. Projeté sur les parois par la force centrifuge engendrée par la rotation des disques le krill retombait tandis que les carapaces étaient éliminées par un système d'aspiration d'air. Cette machine constituait la partie principale de la chaîne de production; sa capacité en matière première était de 50 kg à l'heure et son rendement de 18 à 25 pour cent. L'inconvénient de cette méthode était que les opérations d'attrition, de triage des granules et d'emballage devaient être accomplies à la température de -18°C. Les essais entrepris pour étêter le krill avant le décorticage, ce qui aurait permis d'améliorer la qualité du produit, ont échoué. A l'heure actuelle, on ne sait pas si de nouvelles recherches ont été entreprises en vue de mettre au point des méthodes d'épluchage du krill par attrition.

Qualité du produit

Le produit obtenu par cette méthode se présente sous la forme de granules ressemblant à des haricots, mais plus petits et de couleur blanc-rose. Le nombre de granules par kilo est d'à peu près 6 000. La chair du krill bouilli dans l'eau douce a une saveur douce ressemblant fortement à celle de la crevette (tableau 9). Etant donné que l'on utilise le krill entier pour l'épluchage par attrition, environ 25 pour cent des granules contiennent des restes de céphalothorax. En dépit du traitement thermique, une partie des enzymes contenues dans le céphalothorax restent actives. Les oxydases provoquent le noircissement des granules après la décongélation, ainsi que des modifications des lipides par oxydation profonde. En conséquence, le produit ne conserve sa qualité que pendant trois mois de stockage à $-25^{o}C$ (Bykowski *et al.*, 1980). L'utilisation de méthodes d'emballage différentes et d'anti-oxydants n'a pas permis d'améliorer la stabilité du produit (Bykova, Radakova et Kartintsev, 1981).

Articles fabriqués

Les protéines de la chair du krill sont complètement dénaturées étant donné que l'on a fait bouillir celui-ci avant le décorticage par attrition. En conséquence, les possibilités de transformation ultérieure sont très limitées. Dans la pratique, le produit ne peut être utilisé que comme l'un des ingrédients de salades ou de cocktails et il a été servi de cette manière dans des restaurants d'Union soviétique.

4.3.3 Séparation de la chair du krill bouilli par flottation des carapaces

En 1978-80, un dispositif expérimental d'épluchage du krill ayant une capacité en matière première de 300 kg/h a été installé à l'entreprise Dalmor, à Gdynia. La carapace de la matière première bouillie était décollée dans une machine spéciale comprenant un disque tournant à 1 200-2 000 ppm et une couronne fixe (figure 3). Le krillcuit au bain-marie bouillant qui était introduit dans la centrifugeuse était projeté sur les barres de la couronne fixe. Cette opération commençait à décoller la carapace qui était ensuite détachée complètement par flottation dans l'eau, répétée deux ou trois fois. Le rendement était d'environ 10-15 pour cent et dépendait, entre autres, de la taille du krill.

La carapace peut également être décollée des muscles du krill bouilli dans un jet d'eau ou d'air à haute pression. Cette méthode fait également appel à la flottation pour la séparation totale des carapaces. Des essais de ce genre sont actuellement conduits en URSS où l'on estime que les résultats sont prometteurs.

Qualité du produit

Le produit obtenu par la technique polonaise se présente sous la forme de petits granules blancs (24 000 à 26 000 par kilo). La composition chimique du produit congelé est indiquée au tableau 10. En conséquence de l'ébullition et des flottations répétées, le produit est complètement dépourvu de saveur et d'odeur (tableau 9). Etant donné sa très faible teneur en lipides, il ne présente pas de signes de rancidité, même après un entreposage frigorifique prolongé. Les protéines ayant été dénaturées par le traitement thermique, il ne se prête guère à une transformation plus poussée. Il ne forme pas de gels et n'émulsionne pas les graisses. S'il est chauffé à plus de $90^{o}C$, il dégage une odeur désagréable et sa coloration s'altère. On a observé que l'adjonction de 13 pour cent de protéines de chair de krill à de la viande de porc ou de boeuf fraîche permet d'obtenir des émulsions stables. A partir de celles-ci, il est possible de fabriquer des produits de bonne qualité, du type saucisse (Dunajski et Grabowska, 1979). On ne possède aucune information sur les qualités organoleptiques de la chair de krill obtenue par cette méthode dans d'autres pays. Toutefois, on trouve sur le marché soviétique des produits en conserve de bonne qualité, présentés en saumure.

4.4 Concentrés et autres produits destinés à la consommation humaine

On pensait dans les débuts que les concentrés de protéines de krill seraient l'un des principaux produits fabriqués. Le Japon, la République de Corée, la Pologne, la République fédérale d'Allemagne, la Norvège et l'URSS ont entrepris des recherches dans ce domaine, mais celles-ci n'ont pas dépassé le stade du laboratoire. Etant donné la nécessité d'utiliser des solvants inflammables pour l'extraction, la production en mer n'apparaît guère praticable et, pour le moment, cette option ne semble pas très prometteuse.

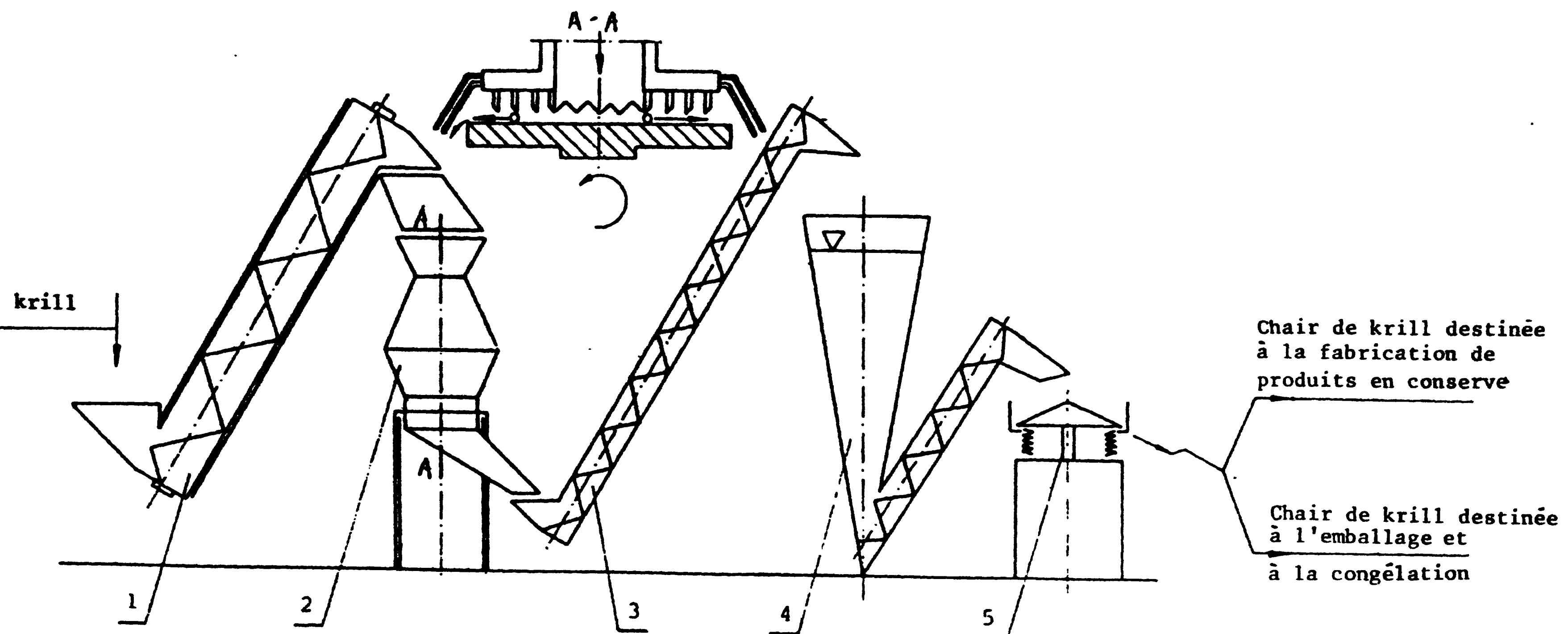



**Figure 3** Représentation schématique du procédé mis au point par l'entreprise Dalmor, à Gdynia, pour la production de chair de queue de krill par broyage et flottation. 1. Cuiseur; 2. Centrifugeuse pour la séparation de la chair et de la carapace; 3. Transporteur à vis; 4. Appareil de flottation; 5. Vibreur pour éliminer l'excès d'eau de la chair

Les sauces de protéines fermentées présentent de l'intérêt, en particulier dans certains pays d'Asie. On a fabriqué en Corée des sauces de bonne qualité avec du krill congelé en utilisant de l'éthanol comme antiseptique (Park *et al.*, 1980a).

## 4.5 Farine de krill

Lorsque le monde a commencé à s'intéresser au krill, on pensait qu'il servirait principalement à la production d'aliments pour animaux à teneur élevée en protéines. La transformation aux fins de la consommation humaine semblait soulever trop de difficultés. Depuis la publication du rapport de Grantham (1977), il n'y a pas eu de changements importants dans la technologie de la réduction en farine. Malgré l'accroissement des captures, aucun équipement spécial n'a été fabriqué pour la production de farine de krill et on s'est contenté de modifier légèrement les installations existantes de fabrication de farine. Toutefois, la production commerciale a permis d'améliorer le procédé et de définir les paramètres, les propriétés et les utilisations de la farine de krill.

### 4.5.1 Problèmes techniques, modifications du procédé

Dans la pratique industrielle, on utilise actuellement une méthode traditionnelle de production de farine de krill, à savoir cuisson suivie de pressage ou centrifugation et séchage. Le procédé employé dans les installations existantes a été maîtrisé très vite. Toutefois, les propriétés techniques du krill, si différentes de celle du poisson, soulèvent certains problèmes qui devront être résolus si l'on veut améliorer la productivité.

Il s'agit d'accroître le rendement du procédé, qui est théoriquement de 22-23 pour cent, mais n'atteint que 14-15 pour cent dans les conditions commerciales (Bykowski, 1982). Le rendement varie en raison inverse de la durée d'entreposage de la matière première avant la transformation, car des pertes considérables de poids sec se produisent à ce stade. Les propriétés physiques du krill présentent des modifications qui dépendent de la méthode d'entreposage. La matière première stockée à bord devient collante au bout de quelques heures, ce qui cause un blocage des machines (par exemple des transporteurs à vis) et, par suite, une réduction de la quantité passée. Lorsque le krill est stocké dans l'eau de mer, d'importantes quantités de substances azotées sont perdues par extraction. En outre, la teneur en sel devient très élevée; la farine tirée de ce produit est impropre, par exemple, à l'alimentation des poulets à rôtir. Etant donné la perte de poids sec au cours du stockage, on admet qu'il ne doit pas durer plus de 8 à 10 heures. Il faudrait s'efforcer de régler la capture de manière à minimiser le délai préalable à la transformation. De même que le krill destiné à l'alimentation humaine, le krill destiné à la fabrication de farine doit être aussi frais que possible. L'entreposage de la matière première dans le compartiment d'attente de l'installation doit être aussi bref que possible car il y règne une température (souvent supérieure à 20° C) qui a pour effet d'accélérer les processus d'autolyse et d'accroître encore l'égouttage et les pertes de poids sec.

Le deuxième facteur qui conditionne le rendement en farine de krill est la température de cuisson. Les résultats d'essais fondés sur des modèles et d'essais commerciaux permettent de penser que la température optimale est de 80°-85°C (Kolodziej *et al.*, 1979; Maksimov *et al.*, 1981; Reinacher, 1978). La cuisson à cette température a pour effet de stabiliser le poids sec dans l'exsudat visqueux. Lorsque l'on transforme du krill qui n'est plus très frais, il faut le cuire à température plus basse. Lors du chauffage, le krill se comporte différemment du poisson: les protéines se coagulent, elles collent aux surfaces chauffées et se prennent en mottes. La cuisson demande donc plus longtemps; il est en outre nécessaire de faire monter la température en injectant directement de la vapeur, ce qui suppose une consommation accrue d'eau douce, denrée rare sur la plupart des bateaux de pêche (Krepa, 1983). En Pologne, des essais complémentaires ont été entrepris pour modifier le système de cuisson en préchauffant la matière première dans de l'exsudat visqueux chaud. La conception du cuiseur a également été modifiée pour éviter le blocage par des mottes de matière coagulée. Une solution intéressante pour remplacer les cuiseurs traditionnels à krill dans les usines de farine pourrait être un échangeur de chaleur tel que le Contherm, fabriqué par Alfa Laval.

Il peut également se produire des pertes de poids sec lorsque l'exsudat visqueux est incomplètement séparé du tourteau pressé ou du résidu d'épuration par centrifugation. Dans la pratique commerciale, les exsudats ne sont pas utilisés car il n'y a pas d'évaporateur à bord des bateaux de pêche. La quantité d'eau présente dans le tourteau pressé ou dans le

résidu après la centrifugation est étroitement conditionnée par les conditions de séchage. L'utilisation de températures élevées provoque une décomposition de l'astaxanthine ainsi que des modifications des protéines, mesurables par le degré d'assimilabilité de la lysine.

A la fin des années soixante-dix, une technique modifiée permettant de produire de la farine de krill à teneur réduite en carapace a été mise au point à l'Institut des pêches maritimes et expérimentée dans des conditions commerciales (Bykowski *et al.*, 1980). Une opération supplémentaire de séparation mécanique de la carapace a été ajoutée au procédé traditionnel. L'emploi de séparateurs du type "neo-press" munis d'un tambour perforé (orifices de 1,2 mm de diamètre) tel que le Baader 695 et l'appareil polonais 01AK1 a permis d'éliminer à peu près 50 pour cent des carapaces (Bykowski, 1982). Un perfectionnement de cette méthode permet d'opérer une séparation très précise de la carapace et le produit obtenu n'en contient que de très faibles quantités (tableau 11). Ces recherches ont été conduites à bord d'un bateau de pêche, mais seulement à l'échelle du laboratoire. Le problème qui n'a pas encore été résolu est celui de la teneur élevée en matières grasses de la farine de krill. Avec des centrifugeuses du type normalement installé sur les bateaux de pêche, il n'a pas été possible de séparer mécaniquement l'huile de krill, même en effectuant de nombreuses opérations additionnelles. Cela tient probablement à la nature des liaisons entre les protéines et les lipides dans la matière première.

Tableau 11

Composition de la farine de krill (en pourcentage)

| Type de farine | Eau | Protéines | Graisses brutes | Cendres | Carapace | F ppm | Référence |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Krill entier | 6,6-10,8 | 50,0-55,2 | 8,1-20,8 | 11,7-14,2 | 11,7-15,1 | | Fourchettes moyennes déterminées sur la base des données polonaises |
| | 8,4 | 52,6 | 16,0 | 12,9 | 13,4 | 1 800 | |
| | 10,6 | 54,4 | 12,4 | 13,6 | 8,4 | - | Grantham (1977) |
| | 14,3 | 51,4 | 11,1 | 10,5 | - | - | Mrotchkov *et al.* (1981) |
| | 10,0 | 54,2 | 15,5 | 12,9 | - | - | McElroy (1982) |
| Farine à faible teneur en carapace | 6,3 | 54,6 | 15,0 | - | 6,0 | 785 | Bykowski (1982) |
| Farine à très faible teneur en carapace | 7,5 | 62,7 | 23,5 | - | 1,3 | 200 | Bykowski (1982) |

4.5.2 Caractéristiques du produit

Les farines de krill présentent certaines propriétés qui les distinguent des farines de poisson. Le poids spécifique de la farine de krill entier est de 450-550 kg/m³, celui de la farine à faible teneur en carapace de 600 kg/m³. Même si elles sont fabriquées ave les mêmes machines, la farine de krill a un grain beaucoup plus fin que la farine de poisson Elle contient 90 pour cent de particules de moins de 0,3 mm. Même lorsque la teneur en matière grasse atteint 20 pour cent, elle ne se prend pas en mottes. Elle est fortement hygroscopique: une farine de krill à 5,3 pour cent d'eau en contenait 11,5 pour cent au bout de dix mois de stockage dans un entrepôt non climatisé (Horbowska, Matyka et Dobrzyk 1979).

La couleur de la farine de krill dépend de la qualité de la matière première et des paramètres de cuisson et de séchage; elle peut passer du rouge clair au rose, puis au beige clair et au beige. La teinte rouge-rosé est due à la présence de caroténoïdes (astaxanthine et ses esters). L'altération de la coloration est une conséquence de leur décomposition au cours de la production et de l'entreposage; leur concentration dans la farine, qui est initialement de 190 µg/g, tombe à 55 µg/g au bout de sept mois. Au bout de treize mois, aucun pigment n'est observable. La farine de krill dégage l'odeur typique des farines de crustacés. Au cours de l'entreposage, l'odeur s'affaiblit pour ressembler finalement à celle des farines de poisson (Kolodziej *et al.*, 1979; Tanaka, Katayose et Katayama, 1981).

Le tableau 11 montre la composition chimique de base des farines de krill. La grande variabilité de la teneur en lipides et en substances azotées est imputable aux différences de composition de la matière première et de degré de fraîcheur avant la transformation, et aux paramètres adoptés pour le procédé de production. Si l'on se réfère aux normes FAO, la composition en acides aminés des farines de krill est satisfaisante (tableau 12).

La digestibilité dans la pepsine va de 76 à 90 pour cent; elle est inférieure à celle des farines de poisson (Horbowska, Matyka et Dobrzycka, 1979; Boeva, 1981; Rehbein, 1981).

Tableau 12

Teneur comparative en acides aminés des farines de krill et des farines de poisson (Horbowska, Matyka et Dobrzycka, 1979; Rehbein, 1981; Miller, 1970)

| Acides aminés | Protéines brutes (en pourcentage) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Farine de krill | | Farine de poisson (Miller, 1971) | |
| | Horbowska, Matyka et Dobrzycka (1979) | Rehbein (1981) | Harengs | Poissons de chalut |
| Asparagine | 9,55 | 9,86 | 9,1 | 8,5 |
| Thréonine | 3,84 | 3,97 | 4,3 | 3,9 |
| Sérine | 3,79 | 4,08 | 3,8 | 4,8 |
| Glutamine | 12,52 | 12,68 | 12,8 | 12,8 |
| Proline | 4,12 | 3,98 | 4,2 | 5,3 |
| Glycocolle | 4,00 | 4,86 | 6,0 | 9,9 |
| Alanine | 4,68 | 5,43 | 6,3 | 6,3 |
| Cystine | 1,03 | 1,26 | 1,0 | 0,9 |
| Valine | 3,95 | 5,32 | 5,4 | 4,5 |
| Méthionine | 2,55 | 2,54 | 2,9 | 2,6 |
| Leucine | 4,34 | 4,87 | 7,5 | 6,5 |
| Iso-Leucine | 6,97 | 7,47 | 4,5 | 3,7 |
| Tyrosine | 3,73 | 4,02 | 3,1 | 2,6 |
| Phénylalanine | 4,36 | 4,83 | 3,9 | 3,3 |
| Lysine | 7,62 | 6,54 | 7,7 | 6,9 |
| Histidine | 2,51 | 1,92 | 2,4 | 2,0 |
| Arginine | 6,32 | 5,81 | 5,8 | 6,4 |
| Tryptophane | 1,02 | nd | 1,2 | 0,9 |

nd: non déterminé

Le tableau 13 présente des données sur la valeur biologique et nutritionnelle de la farine de krill. Elle fournit 3 à 4,5 kcal/g, le chiffre le plus fréquent étant, selon les résultats des recherches polonaises, de 4,2 kcal/g. Cet apport énergétique résulte de la très forte teneur en matière grasse du produit, qui atteint 20 pour cent. Les lipides présents dans les farines de krill se caractérisent par leur degré élevé d'insaturation qui explique pourquoi ils s'oxydent facilement. Des recherches approfondies effectuées à l'Institut des pêches maritimes sur divers types de farine ont montré qu'elles restent stables pendant treize mois d'entreposage sans adjonction d'antioxydants. Au cours d'expéditions dans l'Antarctique et d'opérations commerciales de pêche entreprises par plusieurs pays, notamment la Pologne, on a observé une autoinflammation de la farine de krill. Ce phénomène n'a pas encore été complètement expliqué. Toutefois, nos observations nous permettent de dire que, pour l'éviter, il est important de refroidir la farine à environ 20°C après la production, d'assurer une bonne ventilation de la cale et d'éviter un séchage excessif du produit.

Tableau 13

Valeur nutritive et biologique de la farine de krill
(Krasnodebska, Hanczakowski et Korelewski, 1979)

| | Valeur biologique (VB) | Digestibilité dans la pepsine | Utilisation protéique nette (UPN) | Coefficient d'efficacité protéique (CEP) |
|---|---|---|---|---|
| Farine de krill | 64,2 | 98,9 | 63,5 | 2,93 |
| Farine de poisson | 70,1 | 94,8 | 66,5 | 1,93 |
| Farine de soja | 66,4 | 92,0 | 61,1 | 2,69[a] |

a/ Contenant de la méthionine

## 4.6 Chitine et chitosane

La carapace du krill est constituée par des composés minéraux et de la chitine, liés avec des protéines. Selon l'état biologique de l'animal, la carapace déprotéinisée contient 30-40 pour cent de chitine. La chitine représente approximativement 0,8 pour cent en poids de la matière première fraîche (Yanase, 1975). De nombreux procédés techniques produisent d'importantes quantités de carapace comme déchet (jusqu'à 30-40 pour cent de la matière première). Le poids sec des carapaces de krill représente 24-35 pour cent du poids initial et elles contiennent de grandes quantités de lipides, de protéines et de caroténoïdes. En conséquence, il a fallu modifier la méthode traditionnellement utilisée pour extraire la chitine des carapaces de crevette (Brzeski, 1982). Dans une installation pilote de l'Institut des pêches maritimes, plusieurs tonnes de chitine de krill ont été obtenues selon un procédé spécialement mis au point. Il comprend plusieurs opérations: broyage et décongélation des blocs de carapaces obtenues comme déchet; mélange des carapaces avec de l'eau dans la proportion de 1:3; centrifugation des carapaces (au bout de deux heures de brassage avec de l'eau et de centrifugation, la quantité de composés azotés est réduite d'environ 30 pour cent et celle de lipides de 10 à 30 pour cent); déminéralisation avec une solution d'acide chlorhydrique à 5 pour cent pendant deux heures à 20°C; extraction rapide des lipides avec de l'acétate d'éthyle; déprotéinisation avec une solution d'hydroxyde de sodium à 3,5 pour cent; lavage à l'eau douce; séchage à la température d'environ 80°C. Le procédé permet d'extraire environ 58 pour cent de la chitine contenue dans la carapace. Le produit final contient jusqu'à 3,3 pour cent de cendres et il est de couleur crème à rose clair.

Par déacétylation de la chitine (effectuée en 15-30 minutes à la température de 80°-96°C à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium à 50 pour cent), on obtient du chitosane: le rendement est d'à peu près 70 pour cent (Brzeski, 1982).

Au cours des cinq dernières années, des recherches considérables ont été entreprises sur les techniques de production et les applications industrielles possibles de la chitine/chitosane et de leurs dérivés.

Lors de la troisième Conférence internationale, tenue à Ancône (Italie) en avril 1985, il est clairement apparu que les recherches ont atteint le point où la participation de l'industrie est devenue nécessaire pour progresser davantage.

On a donc noté avec intérêt que le plus gros fabricant mondial d'alginate, la société norvégienne PROTAN, s'est engagé dans la production commerciale du chitosane et de ses dérivés et parrainera la prochaine conférence devant se tenir à Seattle (Etats-Unis) en 1986, dont les travaux se concentreront sur les applications industrielles et les utilisations du chitosane.

Les applications industrielles du chitosane et de ses dérivés pourraient être très nombreuses. A l'heure actuelle, le chitosane est utilisé à l'échelle commerciale pour le traitement des eaux usées, en tant que coagulant des protéines. L'utilisation du chitosane disponible dans le commerce pour la purification de l'eau potable a été approuvée par le Bureau de protection de l'environnement des Etats-Unis. Le chitosane peut également être employé pour l'élimination des métaux lourds et des éléments-traces, notamment le plutonium et l'uranium. Il a également donné des résultats prometteurs en tant qu'agent hémostatique (Fradet, 1985). La chitine et ses dérivés sont biodégradables et les produits de dégradation ne causent aucune perturbation dans l'organisme humain. Ils présentent donc de l'intérêt pour l'émission contrôlée de médicaments, d'éléments nutritifs, de produits chimiques utilisés en agriculture, de produits chimiques divers, etc. (Muzzarelli, 1977).

Les applications alimentaires des polymères de chitosane sont limitées par trois facteurs principaux: en premier lieu, les propriétés de la chitine (chitosane) varient selon l'origine du produit et la méthode de préparation; en deuxième lieu, il n'a pas encore été déposé de demande d'homologation de la chitine pour utilisation dans des produits alimentaires auprès de la Food and Drug Administration des Etats-Unis, quoique celle-ci ait récemment approuvé l'emploi du chitosane comme additif dans les aliments pour animaux; en troisième lieu, on est très mal informé sur le métabolisme de la chitine/chitosane dans l'organisme humain (Knorr, 1984). Toutefois, un accroissement de la demande de chitine/chitosane pour diverses applications aiderait considérablement à surmonter ces limitations.

A l'heure actuelle, la production de chitine/chitosane se concentre principalement au Japon et aux Etats-Unis et le problème le plus récent est celui de la normalisation des articles de haute qualité.

Les prix des produits finis varient entre 4 et 25 dollars E.-U. le kilo, selon la qualité, le type de dérivés et la quantité commandée.

### 4.7 Autres sous-produits

#### Enzymes

Les études de l'appareil digestif du krill ont montré la présence de nombreux enzymes qui pourraient trouver des utilisations pratiques dans diverses industries - alimentation humaine, alimentation animale, tannage, produits pharmaceutiques, etc. Toutefois, ces applications nécessiteraient le transport d'importantes quantités de liquide contenant de petites quantités d'enzymes. Pour le moment, on ne possède aucune information sur les utilisations pratiques possibles des enzymes du krill, en dehors des résultats des recherches en laboratoire.

#### Huile de krill

Bien que l'on ait procédé à des expériences très poussées et fait appel à des opérations additionnelles (Schreiber *et al.*, 1979), il n'a pas été possible d'obtenir de l'huile de krill par centrifugation dans un équipement de type traditionnel. Cela tient aux propriétés des lipides du krill.

L'huile de krill n'a pu être obtenue que par extraction à l'aide de divers solvants organiques. Etant donné sa teneur élevée en phospholipides et en acides gras, elle pourrait représenter une très utile matière première pour l'industrie de l'huile et les industries cosmétiques et pharmaceutiques. Toutefois, étant donné que le coût de l'extraction est élevé et qu'il faut des installations spéciales, il ne faut guère escompter une production courante d'huile de krill.

## 4.8 Salubrité des produits du krill

### 4.8.1 Produits destinés à la consommation humaine

De nombreux produits du krill satisfaisants aux spécifications établies sont vendus sur le marché soviétique. Citons notamment les conserves à base de chair de krill et les conserves contenant la pâte de krill "Ocean". La situation est analogue au Japon. En 1982, une entreprise japonaise a proposé de vendre de la chair de krill aux Etats-Unis et au Canada.

Les autorités sanitaires polonaises ont considéré les produits du krill comme un aliment de type nouveau. La chair de krill obtenue par épluchage sur rouleaux a fait l'objet d'études toxicologiques approfondies et de longue durée. Les épreuves se sont déroulées conformément aux normes établies par l'OMS. En octobre 1984, l'Institut national d'hygiène de Varsovie a déclaré que le krill épluché n'est pas toxique. Conformément aux règlements en vigueur en Pologne, cette déclaration habilite l'Institut des pêches maritimes à présenter au Ministère de la santé une demande d'approbation de la chair de krill en tant que produit destiné à l'alimentation humaine. En 1984, une société américaine a expérimenté de la chair de krill épluchée sur rouleaux provenant de Pologne comme additif dans des produits alimentaires. En 1984, l'Académie de médecine de Poznán a mené à bonne fin des recherches toxicologiques préliminaires sur le précipité de krill et elle a approuvé le produit. A noter que les expériences entreprises avec de la pâte coagulée de fabrication polonaise ont été abandonnées en 1979, en raison de leurs résultats négatifs.

En 1981, la Food and Drug Administration des Etats-Unis a déclaré que la chair de queue de krill - excluant l'exosquelette - est un produit alimentaire, revenant ainsi sur sa position antérieure selon laquelle le krill était un additif alimentaire. Les Etats-Unis ont conclu que les 14 ppm de fluor contenus dans la chair du krill ne sont pas dangereux pour la santé humaine (Anon., 1981).

La teneur en fluor est voisine de ce niveau dans plusieurs produits: chair épluchée sur rouleaux, précipité de krill et hachis obtenu selon le procédé modifié (Bykowski et Dutkiewicz, 1984; Christians, Leinemann et Manthey, 1981; Kolakowski, 1982). Il est probable que la teneur en fluor de la chair obtenue par la méthode soviétique de broyage et flottation n'est pas plus élevée. Les recherches polonaises dans ce domaine interrompues en 1979 avaient permis d'obtenir un produit contenant 35 ppm de fluor (Bykowski, Kostuch et Kowakzuk, 1981).

Il est évident qu'il faudrait s'efforcer d'abaisser encore la teneur en carapace et donc en fluor des produits du krill. Toutefois, on se heurte à des limitations techniques, par exemple le pouvoir séparateur des centrifugeuses, les difficultés de construction et de nettoyage de séparateurs à tambour ayant des orifices de moins de 1 mm de diamètre.

Un moyen de résoudre le problème du fluor pourrait être d'utiliser les produits du krill comme additifs alimentaires. Par exemple, une société danoise de Bornholm a demandé à la Pologne de lui vendre de la pâte coagulée. Elle l'a ensuite utilisée comme additif dans des steaks de poisson haché, ce qui a permis d'améliorer leur coloration et leur goût. Le produit contenait des quantités négligeables de fluor et il a été approuvé par les autorités sanitaires.

### 4.8.2 Produits destinés à l'alimentation animale

L'URSS, le Japon et le Chili autorisent l'utilisation de farine de krill et de krill congelé pour l'alimentation animale sans aucune restriction. A la fin des années soixante-dix, la Pologne a vendu plusieurs centaines de tonnes de krill congelé et de produits du krill à la Norvège qui les a utilisés pour l'alimentation des salmonidés. La Pologne a

entrepris en 1977 de vastes recherches sur les utilisations de la farine de krill dans l'alimentation animale. Des études zootechniques ont mis en évidence quelques effets négatifs. Ceux-ci ont été observés en cas d'administration de doses importantes de farine de krill, supérieures à celles normalement utilisées pour l'élevage.

Les expériences d'utilisation de farine de krill ont pris une nouvelle direction lorsqu'il a été découvert qu'elle contient beaucoup de fluor. Sa teneur en fluor est en effet quatre fois supérieure à la dose autorisée dans les aliments pour animaux dans les pays de la CEE (EEC, 1973). Cela pourrait expliquer les résultats négatifs précités de certaines expériences (Minta, Szprengier et Bienacki, 1979; Pastuszewska, Lis et Wyluda, 1979; Siebert *et al.*, 1982).

La méthode mise au point en Pologne pour produire de la farine de krill à faible teneur en carapace n'est guère prometteuse pour l'avenir, en raison du coût élevé des séparateurs nécessaires et du faible rendement. En conséquence, de nouvelles recherches ont été entreprises pour déterminer les possibilités d'utilisation de krill entier pour la production de farine. En vue de déterminer les doses "inoffensives" de farine, on a déterminé la tolérance des animaux au fluor, le degré auquel il est assimilé et la concentration à laquelle il s'accumule dans la viande et dans les oeufs. La dose acceptable de fluor dans les aliments pour porcins est d'à peu près 150 ppm, et dans les aliments pour poulets à rôtir d'à peu près 200 ppm. Compte tenu des quantités de fluor présentes dans les aliments contenant des phosphates, la quantité de farine de krill qui peut être ajoutée "sans danger" à des mélanges est de 3 pour cent pour les porcs et pour les poulets à rôtir. La farine de krill ne doit pas être utilisée pour nourrir des animaux vulnérables au fluor, par exemple le bétail et les animaux élevés pour la reproduction. Une dose de fluor qui n'entraîne pas d'augmentation de la teneur en fluor des tissus musculaires des animaux a été déterminée (Pastuszewska, 1984).

La farine de krill et le krill congelé sont un aliment excellent pour les salmonidés (Koops *et al.*, 1979; Trzebiatowski, Domagala et Filipiak, 1979; Goryczko et Gliszczyński, 1981). Au cours de recherches qui ont duré trois ans, des saumons et des truites ont été nourris exclusivement avec du krill et on a constaté que leurs muscles contenaient moins de fluor que ceux de poissons de la Baltique provenant de la même zone (Grave, 1981). Cet auteur estime qu'il n'y a aucune contre-indication à l'alimentation des salmonidés avec du krill.

### 4.9 Emplacement des installations de transformation

Etant donné les propriétés techniques de la matière première, elle doit être transformée le plus tôt possible après la capture. Le seul moyen de satisfaire à cette exigence est d'installer l'équipement de transformation à bord des bateaux. Ce choix est dicté par deux exigences. La première est de type qualitatif: seul le krill frais est utilisable pour fabriquer des produits entièrement ou partiellement à base de krill qui soient de bonne qualité, qu'ils soient destinés à la consommation humaine ou à l'alimentation animale.

La deuxième concerne l'efficacité de la pêche. Etant donné que les bateaux européens doivent parcourir des distances importantes entre les fonds de pêche et leurs ports d'attache, le poids et le volume du produit transporté doivent être réduits au minimum. Des efforts ont déjà été entrepris dans ce sens; par exemple, la congélation du krill destiné à l'alimentation animale a été rigoureusement limitée sur les navires soviétiques. Grâce à l'installation à bord de séparateurs à haut rendement, il sera possible de produire de la farine de krill de meilleure qualité, ne contenant pas de carapaces. Il est probable qu'à l'avenir de plus grandes quantités d'articles finis tels que chair de krill en conserve et petites portions de chair de krill seront produites à bord des bateaux qui disposeront des moyens techniques nécessaires. A l'heure actuelle, on utilise des chalutiers-usines adaptés pour la transformation du krill; mais celle-ci ne peut pas être très poussée, car ces bateaux conservent habituellement à bord le matériel de transformation du poisson qu'ils utilisent pendant le reste de l'année. On ne sait pas encore si des bateaux spécialement destinés à la pêche et à la transformation du krill sont en cours de construction, quoiqu'un prototype ait été conçu. Néanmoins, on construit actuellement des bateaux équipés pour pêcher à la fois le poisson et le krill. Leur conception et l'équipement dont ils disposeront permettront d'utiliser plus efficacement la matière première, principalement pour la production de conserves.

Rien ne permet d'espérer que le krill puisse être transformé dans les anciennes installations de transformation de la baleine en Géorgie du Sud. La saison de pêche dans cette zone est courte et les taux de capture sont extrêmement variables. En dépit de la faible durée du transport (de quelques heures à plus de dix heures), les opérations seraient limitées à la fabrication de farine de krill, qui a peu de chances d'être rentable.

## 5. ESTIMATIONS DES COUTS DE PRODUCTION, DES PRIX ET DE LA DEMANDE

Il n'existe pas encore véritablement de marché du krill et les paramètres techniques des opérations de pêche et de transformation sont encore très mal définis. Néanmoins, les lacunes se réduisent progressivement grâce aux essais, expériences et études techniques entreprises, si bien que l'on peut tenter de faire des estimations économiques préliminaires de certaines options possibles pour l'exploitation commerciale du krill. La tentative d'évaluation présentée ici se fonde sur les résultats de nos propres recherches et sur les données contenues dans les publications sur la question. On a tenu compte avant tout des résultats des recherches et expériences polonaises et, en particulier, de l'incidence des paramètres ci-après sur l'évaluation économique: longueur de la saison de pêche du krill, taux moyen de capture par jour de pêche, zone de pêche, rendement de l'épluchage du krill et de sa transformation en produits destinés à l'alimentation animale, caractéristiques d'un chalutier-usine du type le mieux adapté à l'exploitation du krill, méthode la plus avantageuse de transformation et autres éléments d'une importance fondamentale.

Ces données ont été complétées par celles d'auteurs tels qu'Eddie (1977), McElroy (1980), Mitchell et Sandbrook (1980). Les renseignements tirés de ces diverses sources nous ont permis d'établir un schéma général d'exploitation qui semblerait rentable dans les conditions pratiques et de déterminer les produits qui devraient être bien accueillis sur le marché.

### 5.1 Modèle d'exploitation choisi

#### 5.1.1 Hypothèses fondamentales

Nous ne prétendons pas que les hypothèses et calculs présentés ci-dessous aboutissent à l'unique et meilleur modèle d'exploitation qui puisse être élaboré, par exemple, sur la base d'une analyse opérationnelle. Nous ne possédions pas toutes les données nécessaires pour optimiser le modèle d'exploitation: ainsi, le volume de la demande et les prix que les consommateurs seraient disposés à payer pour les produits du krill restent des inconnues.

Nous nous sommes fondés sur les éléments suivants pour calculer les coûts d'une expérience d'exploitation complètement nouvelle:

(a) L'évaluation économique intéresse le marché libre. Aucun des éléments des coûts ne comprend de subventions.

(b) Le principal produit fabriqué en mer immédiatement après la capture serait la chair de queue de krill épluchée sur rouleaux. De la farine de krill serait produite avec la partie des captures quotidiennes qui ne serait pas employée à cet effet, soit en raison d'une capacité de transformation insuffisante, soit en raison de la médiocre qualité de la matière première.

(c) La chair de queue de krill serait congelée en blocs à bord de chalutiers usines, emballée dans des boîtes en carton et transbordée sur des transporteurs frigorifiques qui la livreraient dans un port des Etats-Unis, d'Europe ou d'autres régions.

(d) La chair de queue de krill congelée en blocs serait considérée comme un produit semi-fini et livrée à certains pays où il existe traditionnellement un marché de la crevette; elle y serait transformée en produits finis pour lesquels il existe une demande sur le marché. On admet qu'elle serait probablement vendue sous les formes suivantes: cocktails, salades, pâte mélangée avec de la crevette, baguettes panées, sauces, soupes et ragouts. Les principaux clients seraient des restaurants et autres acheteurs pour l'alimentation de collectivités.

(e) Il n'existe pas de marché pour les produits du krill. Il serait nécessaire de mener une campagne de promotion exigeant une étroite collaboration entre les transformateurs locaux et l'entreprise de pêche fournissant la chair de queue de krill épluchée présentée en blocs congelés.

(f) La durée de la campagne de promotion pourrait attendre deux à quatre ans; elle commencerait à la date de livraison d'un grand nombre d'expéditions, dont chacune serait de 10 t au moins. Toutefois, au bout d'un an ou deux déjà, le producteur (entreprise de pêche) se sera rendu compte de l'éventuelle rentabilité de nouveaux investissements;il pourra alors décider de construire une série d'éplucheuses à krill et d'adapter un plus grand nombre de bateaux à la capture du krill.

(g) Le présent calcul intéresse la phase première de promotion au cours de laquelle, par exemple, un ou deux chalutiers commerciaux pourraient être utilisés. Initialement, trois éplucheuses à krill seraient installées sur chaque bateau, ce qui permettrait de disposer d'une capacité de transformation totale de 30 000 kg de krill entier en 4 800 kg de chair de queue en 20 heures de travail par jour. En mer, du fait des interruptions dans les opérations de pêche du krill ou de courtes pannes des machines qui ne seraient encore que des prototypes, la capacité quotidienne de transformation ne serait en pratique que de 25 000 kg de krill, à partir desquels on obtiendrait 4 000 kg de chair de queue.

(h) Au cours de la deuxième phase, la seule différence serait l'installation sur chaque bateau d'un plus grand nombre d'éplucheuses à krill (par exemple six au lieu de trois), ce qui aurait pour résultat un accroissement de la capacité de transformation en chair de queue s'accompagnant d'une diminution de la production de farine. C'est là l'objectif que pourrait se fixer une entreprise de pêche pour la mise en route d'une exploitation commerciale normalement rentable des stocks de krill. Cette phase ne pourra cependant commencer que lorsqu'une demande du produit aura été crée.

(i) Dans la présente section, tous les coûts ont été calculés en dollars des Etats-Unis sur la base des prix du carburant, de l'équipement et des services en 1984. Les autres hypothèses sont une capture quotidienne de 56-60 t de krill pendant chacun des 106 jours de pêche et l'absence de variation de tous les autres facteurs.

(j) On a admis que le rendement moyen de l'épluchage du krill sur rouleaux serait de 16 pour cent et le rendement de la transformation du krill entier en farine de 14 pour cent. Cette estimation est assez prudente. Il est possible que les rendements soient plus élevés lorsque la production deviendra très importante comme cela s'est produit certains jours au cours de diverses prospections.

(k) Le modèle d'exploitation retenu suppose que le krill serait transformé à bord immédiatement après chaque relevage du chalut. D'autres options ont également été envisagées, en particulier la capture par des chalutiers de taille moyenne et le transport à l'état frais pour la transformation à terre ou le transbordement sur des installations de transformations flottantes. Toutefois, aucune d'entre elles ne semble réalisable parce que le krill frais se détériore trop rapidement. Le stockage provisoire dans de l'eau de mer réfrigérée ne se justifie que pour les petits excédents de krill frais, pendant une brève période entre les relevages. Il est néanmoins impossible de conserver en bon état la matière première fournie par une journée complète de pêche, pour ne rien dire des captures de plusieurs journées. Les calculs préliminaires ont également montré que la congélation à bord du krill frais et sa transformation ultérieure à terre en produit fini n'aurait guère de chances d'être une option viable. Il pourrait y avoir des exceptions à cette règle lorsqu'il deviendra possible de vendre à prix élevés aux utilisateurs finals du krill congelé entier.

5.1.2 Le bateau

L'équipement nécessaire à l'épluchage du krill et l'équipement de production auxiliaire seront faciles à installer sur six types de chalutiers et de chalutiers-usines actuellement utilisés en Pologne. Ils pourront être mis en place pour une période de six mois, démontés en deux jours dans un port proche des fonds de pêche et remplacés par un équipement de transformation du poisson ou de l'encornet. L'installation de trois éplucheuses à krill exigera en outre celle d'un évaporateur capable de produire 10-12 t d'eau douce par jour, étant donné que la transformation du krill implique une consommation accrue d'eau douce.

Il a été décidé qu'au premier stade de l'entreprise, au cours de la campagne de pêche 1985/86, on utilisera un unique chalutier-usine B-414. Ses caractéristiques sont les suivantes:

| | |
|---|---|
| Longueur hors tout | environ 90,00 m |
| Longueur entre les perpendiculaires | 81,60 m |
| Largeur (maximum mesurée horizontalement) | 15,00 m |
| Tirant d'eau nominal | 5,40 m |
| Port en lourd correspondant | 1 500 t |
| Tonnage brut enregistré | 2 600 RT |
| Vitesse à 5,20 m de tirant d'eau | 15,5 noeuds |
| Traction à l'amarrage | 42 t |
| Rayon d'action en milles nautiques | 16 000 |
| Autonomie en jours | 80 |
| Moteur principal à 500 rpm (puissance au frein en chevaux) | 3 600 BHP |
| Energie électrique fournie par deux alternateurs avec dispositif de sortie | 780 kVA |
| plus deux alternateurs avec dispositif de sortie | 700/850 kVA |
| Capacité de la cale: | |
| produits congelés (-28°C) | 1 430 m³ |
| farine de poisson ou de krill | 470 m³ |
| huile de poisson | 60 m³ |
| Capacité de réfrigération par jour: | 45 t |

L'équipement de transformation du poisson consiste en machines Baader 33, 181, 189, 188 et 694 et autres machines qui seraient remplacées pendant six mois par des éplucheuses à krill et dispositifs auxiliaires.

| | |
|---|---|
| Capacité en matière première de l'installation de production de farine de poisson | 50 t |

Des bateaux du type B-414 ont été construits pendant les années 1975-77. L'âge moyen de ceux qui seront utilisés pour les opérations expérimentales de pêche du krill au cours de la période 1985-88 sera donc de dix ans. Des bateaux plus anciens construits entre 1967 et 1972 pourraient également être employés afin d'abaisser le coût de l'expérience.

5.1.3 Cycles de capture

Une longue expérience de la capture du poisson sur les principaux fonds de pêche de l'Atlantique et du Pacifique et ce que l'on sait des lieux de concentration et du comportement saisonnier des essaims de krill suggèrent un modèle d'exploitation présentant les caractéristiques ci-après:

(a) Conformément à ce qui se pratique couramment en Pologne depuis quelques années, le chalutier quitte le port d'armement pour plusieurs années (par exemple quatre) et n'y revient que pour une révision période. Le port de départ où il se ravitaille en carburant et en vivres et où sont effectuées d'éventuelles réparations est choisi à proximité du fond de pêche. Lorsque la cale a été remplie, les produits sont transbordés sur un transporteur-congélateur qui approvisionne également le chalutier en carburant et autres nécessités. La proportion numérique de chalutiers par rapport à celle de transporteurs-congélateurs et de bateaux-mères est fonction de la taille de ces derniers et de la distance entre les fonds de pêche et les ports de départ. L'utilisation de navires auxiliaires polonais pour aider les chalutiers pêchant le krill ne soulève aucune difficulté. Des chalutiers polonais pêchant le poisson et l'encornet opèrent depuis plusieurs années déjà à proximité des fonds de pêche du krill dans les parages des îles Falkland. On admet donc que des bateaux

auxiliaires polonais feront la navette et pourront desservir une flottille de plusieurs chalutiers pêchant le krill sans que cela entraîne une importante augmentation des coûts. De cette manière, les bateaux polonais de pêche au krill se trouveraient automatiquement incorporés dans le système d'exploitation du poisson et de l'encornet au voisinage de l'Antarctique.

(b) L'équipage du chalutier est remplacé au bout de quelques mois; il est transporté par avion du port d'armement (Gdynia) au port de départ en Amérique du Sud, et inversement.

(c) Le chalutier-usine B-414 pêchera le krill pendant une période de cinq ou six mois (par exemple de décembre à mai). En juin, les éplucheuses à krill seront remplacées par un équipement de transformation du poisson dans le port de base en Amérique du Sud. Ce bateau se livrera à des opérations traditionnelles de pêche du poisson et de l'encornet pendant les cinq ou six mois restants de l'année.

(d) La pêche après la saison du krill ne posera aucun problème puisque les capitaines des bateaux connaissent bien les fonds de pêche du poisson et de l'encornet situés à proximité des zones de concentration du krill. Les taux de capture quotidiens qu'il est possible d'obtenir sont également bien connus. Les saisons de pêche de l'encornet et du krill se chevauchent dans une large mesure. On sait que, pendant les deux mois consécutifs à la saison du krill, le bateau capturera des encornets et que, pendant les quatre mois restants, il capturera du poisson. On sait également que le poisson et l'encornet capturés auront une valeur marchande permettant de faire à peu près face aux coûts de l'exploitation du bateau pendant les six mois où il ne pêchera pas le krill. Le calendrier des opérations d'un chalutier-usine travaillant toute l'année et pêchant le krill, le poisson et l'encornet est présenté au tableau 14.

5.1.4 Résultats escomptés de la pêche

Les données présentées au tableau 14 en ce qui concerne les captures et la transformation du krill nécessitent quelques explications. Elles intéressent uniquement la première phase de l'expérience, durant laquelle le chalutier ne sera équipé que de trois éplucheuses avec les machines auxiliaires requises.

On peut se demander pourquoi on installera seulement trois éplucheuses ayant une capacité totale en matière première de 25 t par jour, alors que le bateau devrait capturer en moyenne 55 t par jour et qu'il existe à bord la place nécessaire pour six machines. Il y a deux raisons à cela.

En premier lieu, l'entreprise qui va s'engager dans des essais de pêche du krill n'a pas l'intention d'investir beaucoup d'argent dans la production massive de chair de queue de krill tant que la demande et les prix n'auront pas été déterminés.

En deuxième lieu, étant donné les fluctuations considérables des quantités ramenées dans un trait de chalut (en raison du comportement imprévisible des essaims de krills), la variabilité des utilisations techniques possibles des échantillons de krill et le caractère changeant des conditions météorologiques, il n'a pas encore été possible de déterminer précisément la proportion des captures qui pourra être transformée chaque jour en chair de queue pendant l'ensemble de la saison de pêche.

Le tableau 15 montre la production escomptée au cours de la saison de pêche du krill durant la première phase de l'expérience.

On pense que les prévisions ci-dessus sont très réalistes étant donné que le principal paramètre utilisé pour calculer le rapport intrants-extrants, à savoir le taux de capture quotidien, a été déterminé sur la base des résultats obtenus par des bateaux polonais au cours de sorties antérieures. Le rendement possible de la transformation en chair de queue et en farine destinée à l'alimentation animale est également corroboré par les résultats antérieurs. Le tableau ne prévoit pas la possibilité de congeler du krill frais entier certains jours de captures record; cette option pourrait être envisagée s'il existe une demande du produit et s'il reste suffisamment de place dans la cale après le stockage de la chair de queue épluchée.

Tableau 14

Calendrier annuel d'exploitation et production d'un bateau pêchant le krill, le poisson et l'encornet

| Type d'activité | Nombre de jours | | |
|---|---|---|---|
| | Capture du krill | Capture du poisson et de l'encornet | Nombre total de jours d'exploitation |
| Nombre de jours civils | 182 | 183 | 365 |
| Moins révisions et réparations | 28 | 12 | 40 |
| Temps disponibles pour les opérations | 154 | 171 | 325 |
| Jours de planche dans le port de base | 6 | 6 | 12 |
| Temps passé en mer | 148 | 165 | 313 |
| Jours de planche auprès du navire auxiliaire et de transport pour le déchargement de la cargaison et le ravitaillement | 15 | 15 | 30 |
| Déplacements d'une position à une autre (recherche des bancs et voyages jusqu'au port ou jusqu'au bateau transporteur) | 22 | 30 | 52 |
| Autres journées non productives | 5 | 10 | 15 |
| Total jours de pêche | 106 | 110 | 216 |
| | Tonnes | | |
| Taux de capture quotidien moyen | 55 | 41 | |
| Quantité capturée (poids vif) | 5 830 | 4 510 | 10 340 |
| Production: | | | |
| Chair de queue de krill | 424 | | 424 |
| Filets de poisson | | 810 | 810 |
| Poisson éviscéré et étêté et encornet transformé | | 935 | 935 |
| Farine | 445 | 495 | 940 |
| Poids des produits | 869 | 2 240 | 3 109 |

Le tableau 16 montre la production escomptée pendant la deuxième phase de l'expérience. Le taux de capture quotidien moyen a été porté à 65 t et le nombre d'éplucheuses à krill à 6, la capacité totale en matière première atteignant alors 50 t par jour et la production de chair de queue épluchée 8 t.

Ces données sont moins fiables que celles présentées au tableau 15; il se peut que la capture quotidienne moyenne (65 t) soit surestimée. L'hypothèse selon laquelle environ 77 pour cent (50 t) de ce total pourraient être transformés en chair épluchée de queue de krill peut également sembler exagérément optimiste. Par ailleurs, on ne peut exclure de telles prévisions puisque les taux de captures obtenus pendant de nombreuses journées au cours d'expéditions antérieures ont été de très loin supérieurs à 65 t et que tout le krill pêché était de bonne qualité et aurait pu être épluché. A cette époque toutefois, le nombre d'éplucheuses spécialement conçues installées à bord des bateaux était insuffisant pour permettre d'utiliser rationnellement une pêche excellente. Ce sont les résultats de

Tableau 15

Rapports escomptés intrants-extrants par bateau pendant la saison de pêche du krill au cours de la phase I (3 éplucheuses à bord)

| Matière première utilisée | Par jour de pêche | | | Par saison | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Matière première (en tonnes) | Rendement (%) | Production (en tonnes) | Nombre de jours de pêche | Matière première (en tonnes) | Production (en tonnes) |
| Pour la production de chair de queue | 25 | 16 | 4,0 | 106 | 2 650 | 424 |
| Pour la production de farine | 30 | 14 | 4,2 | 106 | 3 180 | 445,2 |
| Total | 55 | | 8,2 | 106 | 5 830 | 869,2 |

Tableau 16

Rapports escomptés intrants-extrants par bateau pendant la saison de pêche du krill au cours de la phase II (6 éplucheuses à bord)

| Matière première utilisée | Par jour de pêche | | | Par saison | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Matière première (en tonnes) | Rendement (%) | Production (en tonnes) | Nombre de jours de pêche | Matière première (en tonnes) | Production (en tonnes) |
| Pour la fabrication de la chair de queue | 50 | 16 | 8,0 | 106 | 5 300 | 848 |
| Pour la fabrication de farine | 15 | 14 | 2,1 | 106 | 1 590 | 226,6 |
| Total | 65 | | 10,1 | 106 | 6 890 | 1 070,6 |

la première phase de l'expérience qui indiqueront par la suite quelles sont les données réalistes et celles qui ne le sont pas, et qui permettront d'ajuster les chiffres indiqués aux tableaux 15 et 16.

Le tableau 17 indique les quantités de farine de krill qu'il serait possible de produire sur un chalutier-usine B-414 ou analogue si aucun équipement pour la transformation aux fins de la consommation humaine n'était installé à bord. Deux variantes sont présentées: la première correspond à une capture quotidienne moyenne de 55 t et la deuxième à une capture quotidienne moyenne de 65 t.

On voit qu'il serait possible de produire 816-964 t de farine de krill pendant l'ensemble de la saison de pêche. Une comparaison entre la viabilité économique de l'utilisation du krill pour la fabrication de farine et de son utilisation pour la fabrication de produits destinés à la consommation humaine est présentée ci-après.

5.2 Coûts de production

5.2.1 Structure des coûts par bateau

Comme il a été dit plus haut, le bateau pêchera tout au long de l'année et capturera du krill, du poisson et de l'encornet; il sera intégré dans le système d'exploitation polonais dont les bateaux de pêche avec leurs navires auxiliaires opèrent déjà dans les grandes zones de pêche FAO N° 41 et N° 48.

Tableau 17

Rapports intrants-extrants par bateau pendant la saison de pêche du krill selon deux options possibles et dans l'hypothèse où la totalité de la capture serait réduite en farine

| Phase | Par jour de pêche | | | Par saison | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Matière première (en tonnes) | Rendement (%) | Production (en tonnes) | Nombre de jours de pêche | Matière première (en tonnes) | Production (en tonnes) |
| I | 55 | 14 | 7,7 | 106 | 5 830 | 816,2 |
| II | 65 | 14 | 9,1 | 106 | 6 890 | 964,6 |

C'est pour cette raison que nous présentons ici le détail des coûts de l'exploitation d'un bateau pêchant à la fois le poisson et le krill. Les éléments individuels des coûts ont été estimés sur la base des résultats obtenus ces dernières années. A noter toutefois que le coût total de l'exploitation du bateau sera plus élevé au cours de la phase II qu'au cours de la phase I.

Le tableau 18 montre les prévisions relatives aux frais d'exploitation et aux dépenses générales d'entretien d'un bateau pendant les deux phases de l'expérience.

De nombreux éléments des coûts sont supposés être les mêmes pendant les deux phases de l'expérience, en particulier le coût du carburant, la dépréciation et l'usure des filets et autres fournitures, les frais de subsistance de l'équipage et certaines autres dépenses.

Au cours de la phase expérimentale, on s'intéressera plus particulièrement à l'utilisation ininterrompue et de longue durée de nouveaux prototypes d'éplucheuses à krill. Celles-ci ne devraient pas fonctionner moins de 100 jours au nombre de maximum d'heures par jour et elles devraient transformer la plus grande quantité possible de krill en chair de queue. Il s'agit en effet de déterminer le nombre d'éplucheuses qui devront être employées dans l'avenir et de se rendre compte de la capacité quotidienne d'épluchage avec des taux de capture maximums et des taux de capture moyens.

Pendant la deuxième phase de l'expérience, certains coûts augmenteront, par exemple: celui de la rémunération de l'équipage qui, outre un traitement fixe, recevra une commission calculée en pourcentage de la valeur des captures; celui des services des navires auxiliaires, en particulier les transporteurs-congélateurs qui chargeront la chair de queue épluchée et iront la débarquer dans différents ports; celui des matériaux d'emballage, en raison de la quantité accrue de produits finis; celui de l'amortissement puisque des éplucheuses supplémentaires seront installées sur le chalutier; enfin, celui des intérêts et des imprévus.

Les frais de vente sont très bas et restent les mêmes pendant les deux phases car on admet que tous les coûts du lancement du nouveau produit seront supportés par le client à terre. Pour ce qui est des frais de transport maritime et autres coûts liés à la livraison dans divers ports de chair de queue de krill présentée en blocs congelés, ils sont inclus sous la rubrique "services". Ces frais sont très élevés: ils représentent 11,2 pour cent des frais d'exploitation directs au cours de la phase I et 16,4 pour cent au cours de la phase II.

5.2.2 Coûts unitaires de la capture et de la transformation du krill

Pour obtenir le coût unitaire des produits du krill, il est nécessaire d'isoler le cycle du krill du cycle traditionnel de capture du poisson et de l'encornet dans le total des coûts annuels car il s'agit de deux domaines d'activité différents. Les produits pêchés traditionnellement sont expédiés à bord de navires auxiliaires vers le marché intérieur polonais. La période de pêche du krill sera une période d'expérimentation, au cours de laquelle il faudra résoudre des problèmes de commercialisation et de viabilité de la production.

Tableau 18

Frais annuels d'exploitation d'un bateau du type B-414
(en dollars E.-U. aux prix de 1984)

| Poste | Phase I (3 éplucheuses à krill) | Phase II (6 éplucheuses à krill) |
|---|---|---|
| Consommation de carburant et d'huile | 490 000 | 500 000 |
| Engins de pêche | 176 000 | 176 000 |
| Matériaux d'emballage | 25 000 | 50 000 |
| Autres matières directes | 140 000 | 140 000 |
| Rémunération de l'équipage | 459 000 | 636 000 |
| Indemnité de subsistance de l'équipage | 156 000 | 156 000 |
| Réparations et révisions | 286 000 | 286 000 |
| Assurances | 90 000 | 140 000 |
| Droits de port | 112 000 | 112 000 |
| Services d'un congélateur-transporteur (transportant les produits finis et ravitaillant le bateau) | 287 000 | 497 000 |
| Autres coûts primaires, y compris le transport aérien de l'équipage | 337 000 | 337 000 |
| Frais d'exploitation directs (total partiel) | 2 558 000 | 3 030 000 |
| Amortissement du bateau | 390 000 | 420 000 |
| Dépenses d'infrastructure | 190 000 | 190 000 |
| Frais généraux et d'administration | 189 000 | 189 000 |
| Frais de vente | 24 000 | 24 000 |
| Intérêts et imprévus | 162 000 | 186 000 |
| Total | 3 513 000 | 4 039 000 |

La répartition des coûts annuels totaux entre le cycle du krill et les cycles traditionnels sera effectuée sur la base du temps consacré à l'un et aux autres par chacun des bateaux. Le critère pourra être soit le nombre de jours en mer soit le nombre de jours de pêche, le coût en dollars E.-U. étant calculé comme suit:

| | Phase I | Phase II |
|---|---|---|
| Coût d'un jour en mer | 11 223,6 | 12 904,1 |
| Coût d'un jour de pêche | 15 753,4 | 18 112,1 |

Le nombre de jours de mer est probablement un critère plus valable, car il est étroitement lié au but de l'exploitation du bateau et aux moyens mis en oeuvre. Sur cette base, le coût total de chacun des cycles de capture pour un chalutier-usine B-414 sera le suivant:

| | Phase I | Phase II |
|---|---|---|
| Coût de la capture du poisson et de l'encornet | 1 851 894 | 2 129 176 |
| Coût de la capture du krill | 1 661 093 | 1 909 177 |
| Coût annuel total | 3 512 987 | 4 038 983 |

Le coût unitaire de la chair de queue de krill épluchée sur rouleaux et présentée en blocs congelés sera le suivant:

| | Phase I | Phase II |
|---|---|---|
| Coût total de la capture du krill par bateau | 1 661 093 | 1 909 177 |
| Moins valeur de la chair de krill (environ 350 dollars E.-U. la tonne) | 155 820 | 77 910 |
| Coût de la production de chair de queue (424 t au cours de la Phase I et 848 t au cours de la Phase II) | 1 505 273 | 1 831 267 |
| Coût de 1 t de chair de queue | 3 550 | 2 159 |

En arrondissant les chiffres, on voit que le coût de la fabrication de 1 kg de chair de queue de krill livrée en blocs congelés et traitée comme un produit semi-fini par les transformateurs opérant à terre s'établirait très vraisemblablement à 3,60 dollars E.-U. On peut escompter qu'il tombe à 2,20 dollars E.-U.

Nous indiquons ci-dessous les coûts estimatifs probables de la production de farine si toute la matière première capturée est utilisée à cet effet. Dès 1977-79, on s'était aperçu sur la base des données relatives aux opérations expérimentales de pêche entreprises par la Pologne que le coût de la production de farine de krill est relativement élevé. Le coût unitaire aux prix des facteurs en 1979 était le suivant:

pour la farine de krill de qualité ordinaire - environ 1 470 dollars E.-U. la tonne

pour la farine de krill en faible teneur en carapace - environ 1 960 dollars E.-U. la tonne.

Le calcul du coût de la réduction en farine de récoltes quotidiennes de krill de 55 et 65 t aux prix des facteurs en 1984 donne les chiffres suivants:

si chaque bateau capture quotidiennement 55 t et traite 5 830 t de matière première pendant l'ensemble de la saison de pêche, ce qui permettra de produire 816,2 t de farine de krill pour un coût total de 1 661 093 dollars E.-U., le coût de la tonne de farine sera de 2 035 dollars E.-U.;

si chaque bateau capture quotidiennement 65 t et traite 6 890 t de matière première pendant l'ensemble de la saison de pêche, ce qui permettra de produire 964,6 t de farine de krill pour un coût total de 1 909 177 dollars E.-U., le coût de la tonne de farine sera de 1 979 dollars E.-U.

Ces coûts unitaires sont considérablement supérieurs aux prix de la farine de poisson sur le marché mondial.

Il ressort de ces calculs que le coût unitaire de la farine de krill n'est que légèrement inférieur à celui des produits alimentaires derivés du krill. La raison en est que le rendement de la réduction en farine est presque égal à celui de l'épluchage du krill pour la fabrication de produits destinés à l'alimentation humaine.

### 5.3 Commercialisation des produits dérivés du krill

#### 5.3.1 Etat de la recherche commerciale

Si diverses entreprises de pêche ont entrepris des recherches en vue de l'exploitation et la transformation du krill, par contre les sociétés commerciales s'intéressent beaucoup moins à la vente des produits dérivés du krill. Cette disparité est particulièrement apparente si l'on considère le montant des fonds déjà consacrés à la mise en valeur des ressources de krill. Alors que les entreprises de pêche ont déjà dépensé des millions de dollars pour la recherche fondamentale et appliquée, les sociétés commerciales ne semblent s'être aventurées très loin. Il reste donc à entreprendre des recherches systématiques, impartiales et de grande envergure sur la transformation et la commercialisation du krill.

En l'état actuel des choses, il y a lieu d'entreprendre des recherches en marketing pour le compte des fabricants, à savoir les entreprises de pêche qui prennent le risque de perdre des fonds énormes. Les recherches en vue de déterminer les possibilités de vente devraient porter sur les aspects suivants: perspectives qui s'offrent réellement aux nouveaux produits; manutention des produits semi-finis (blocs congelés); mode de transformation en produits finis; éventail et mode de présentation des produits finis; emballages et étiquetage; attitude et réaction des consommateurs à l'égard des produits qui leur sont proposés à titre expérimental; situation géographique des centres de consommation; ampleur et coût des campagnes de promotion et des campagnes publicitaires éventuellement nécessaires; détermination et choix des meilleurs circuits de distribution; prêts qu'il sera possible d'obtenir pour ces produits.

On peut admettre que la recherche en marketing n'aura pas besoin de partir de zéro, c'est-à-dire d'études sur la forme à donner aux produits. La fabrication de chair épluchée de queue de krill semble une proposition valable. Des échantillons ont récemment été distribués à des importateurs et transformateurs des Etats-Unis. Les sociétés désireuses de participer à la commercialisation et à la transformation du krill devraient commencer par expérimenter divers produits finis et entreprendre parallèlement des essais de commercialisation sur une assez grande échelle.

Une question très importante devra être résolue le plus tôt possible au cours de ces recherches. Faut-il, selon les critères commerciaux, considérer la chair épluchée de queue de krill comme un produit entièrement nouveau ou comme un produit de remplacement de la crevette, ou peut-être comme un produit de crevette de qualité très inférieure? Il est évident que, biologiquement, le krill n'appartient pas à la même espèce que la crevette, mais, commercialement, il pourrait passer pour de la crevette de très petite taille en raison de son goût, de son arôme et de sa valeur nutritive. Cet aspect sera le principal facteur déterminant de la viabilité de l'exploitation commerciale du krill pour la consommation humaine directe.

### 5.3.2 Hypothèses relatives au prix

En l'état actuel des recherches sur l'utilisation du krill, le problème des prix et la demande restent le plus difficile à résoudre. S'il est possible de prévoir des solutions aux difficultés techniques, par contre il est impossible de faire avec quelque degré de certitude des prévisions relatives aux prix et à la demande sur la base d'activités conduites au laboratoire ou à une échelle semi-technique. Le niveau des prix ne peut qu'être déterminé par l'offre et la demande découlant d'une production massive. Mais les produits du krill n'ont pas encore été lancés sur le marché mondial. Il n'existe pas un nombre suffisamment représentatif de transactions internationales pour permettre de déterminer le niveau de prix. On ne sait pas encore quels sont les produits alimentaires qui ont été fabriqués jusqu'à maintenant pour lesquels il existerait une demande commerciale à un prix propre à assurer un bénéfice au producteur.

L'URSS et le Japon, qui sont les deux principaux exploitants des ressources de krill, ont écoulé les produits fabriqués sur leurs marchés intérieurs et la gamme d'articles mis en vente et le volume de cette production ont conservé un caractère expérimental jusqu'en 1984. On a effectué beaucoup moins d'expériences dans les autres pays en ce qui concerne la quantité de krill à capturer, les divers articles qu'il est possible de fabriquer et les fonds à allouer et les recherches entreprises ont été beaucoup moins suivies.

A notre avis, on aurait tort de croire que le prix de 1 050 dollars E.-U. la tonne pour le krill entier congelé en bloc pourrait être obtenu dans le monde entier. Ce chiffre d'un niveau exceptionnellement élevé ne peut être envisagé que pour un groupe bien déterminé de consommateurs japonais et concerne des disponibilités minimes.

Pour ce qui est du prix de la chair hachée et de la farine de krill, la question apparaît paradoxale. Certes, il est simple de faire une prévision de prix, car il est probable que le prix du krill haché sera conditionné par les prix de produits concurrents tels que le poisson haché fabriqué à partir d'espèces appropriées. Le prix de la farine de krill sera aussi exclusivement déterminé par celui des qualités analogues de farines de poisson. C'est sur cette base qu'a été retenu dans la précédente section le prix d'environ 350 dollars E.-U. la tonne pour la farine de krill contenant des proportions convenables de protéines et de matières grasses.

Mais la difficulté réside dans la nécessité de fournir ces produits à des prix compétitifs avec ceux des produits qui existaient déjà. Pour ce qui concerne la farine de krill, l'expérience polonaise a montré que la chose est impossible. Il coûte beaucoup plus cher de produire de la farine de krill à bord de chalutiers-usines que de produire à terre de la farine de poisson à partir de poissons de médiocre qualité capturés à proximité du rivage ou à partir de poissons de rebut provenant des bateaux de pêche.

Notre expérience ne nous permet pas de prévoir si quelqu'un réussira à mettre en route une production massive de krill haché à des prix compétitifs avant la fin des années quatre-vingt. Nous ne savons pas non plus si la pâte de krill fabriquée à partir de coagulats pourra être largement vendue à un prix permettant de couvrir les coûts de la production. Nous avons pu constater nous-même l'existence de nombreuses difficultés de caractère économique.

Par contre, la production de chair de queue de krill apparaît prometteuse, comme il a été dit plus haut, sur le plan économique. En l'absence de recherches en marketing détaillées et concluantes sur l'option présentée dans la précédente section, nous avons dû nous fonder sur des suppositions ou même des intuitions pour faire une prévision de prix.

Ces suppositions résultent de recherches indirectes très partielles et, en particulier, de l'examen de communications relatives à l'exploitation du krill publiées jusqu'en 1984 et de communications personnelles, ainsi que de la correspondance entretenue avec certains importateurs et transformateurs de crevettes des Etats-Unis à qui ont été fournis des échantillons de chair épluchée de queue de krill présentée en blocs congelés. Les transformateurs de crevettes des Etats-Unis pensent qu'ils seraient en mesure de traiter la chair de queue de krill pour la vendre sous diverses formes analogues à celles des articles à base de crevettes, quoiqu'à des prix légèrement inférieurs à ceux des crevettes congelées du plus petit calibre.

Cette opinion coïncide en grande partie avec celle de Grantham (1977) qui a probablement été le premier chercheur à penser que la chair de queue de krill pouvait être traitée comme de la crevette. Toutefois, il a jugé improbable que le prix de la chair de queue de krill puisse dépasser 70 pour cent du prix local de la crevette de petite taille. Eddie (1977) a été d'avis que le prix de la chair de queue de krill obtenue par attrition ou épluchage sur rouleaux serait de l'ordre de 2 000 dollars E.-U. la tonne, niveau voisin de celui atteint par les crevettes du plus petit calibre en 1976.

Selon INFOFISH Trade News, les prix moyens en 1984 des plus petites crevettes congelées étêtées en provenance de l'Inde, du Pakistan et de Sri Lanka étaient les suivants:

ports des Etats-Unis: de 3,75 à 4,00 dollars E.-U. le kilo;

ports japonais: de 3,30 à 3,80 dollars E.-U. le kilo.

L'Inde, le Pakistan et Sri Lanka étaient considérés comme des fournisseurs à bon marché. Certaines des meilleures crevettes étêtées de très petit calibre (71-90 unités par kilo) étaient vendues sur le marché des Etats-Unis à des prix allant de 4,00 à 5,20 dollars E.-U. le kilo.

Par suite, si l'on tient compte à la fois du critère de Grantham (70 pour cent du prix de la crevette de plus petite taille) et de l'opinion des transformateurs américains de crevettes, on peut envisager que le prix c.a.f. de la chair de queue de krill se situerait entre 2,50 et 2,90 dollars E.-U. le kilo.

Certains experts sont un peu plus optimistes et estiment que le prix de gros de la chair de queue de krill sur les marchés américains et japonais pourrait s'établir entre 3,00 et 4,00 dollars E.-U. le kilo.

Par ailleurs, on ne peut négliger l'opinion exprimée par Mitchell et Sandbrook (1980) à savoir que la valeur marchande de la chair de queue de krill sera en grande partie déterminée par sa "valeur d'usage minimale". Dans ce cas, le prix de gros pourrait osciller dans une fourchette très large allant de 1,00 à 4,00 dollars E.-U. le kilo.

On suppose que la "valeur d'usage minimale" correspond à la destination finale des produits semi-finis obtenus à partir de chair congelée de queue de krill qui seront susceptibles d'entrer dans la composition de cocktails, salades, bâtonnets panés, ragoûts et autres articles destinés à la vente au détail ou à la préparation de plats servis dans les restaurants. On admet que la chair de la queue pourrait être utilisée de deux manières, à savoir comme additif ou comme ingrédient proprement dit.

Quelques experts et administrateurs d'une société polonaise qui se sont penchés sur le problème de la fixation des prix ont conclu au terme de leurs recherches que la chair de queue de krill devrait être commercialisée à un prix égal ou supérieur à celui des produits à base de poisson de bonne qualité exportés par la société. Les chiffres ci-après donnent une idée des prix moyens de produits de bonne qualité de ce type livrés en 1984 sur les marchés des Etats-Unis ou de la CEE:

| | |
|---|---|
| filets de morue, disposés en couches: | 2,20 dollars E.-U./kg |
| filets de morue, individuellement surgelés: | 2,50 dollars E.-U./kg |
| filets de sole, en blocs: | 2,45 dollars E.-U./kg |
| filets de sole, individuellement surgelés: | 3,52 dollars E.-U./kg |
| filets de flétan, disposés en couches: | 2,50 dollars E.-U./kg |

Compte tenu de toutes les approches du problème et des faits connus, il serait possible d'obtenir pour la chair de queue de krill présentée en blocs congelés un prix c.a.f de 2,50 à 2,90 dollars E.-U. le kilo au cours des phases I et II de la campagne de pêche expérimentale.

Le problème de la fixation des prix de la chair de queue de krill n'en reste pas moins aussi entier que confus. Il faudra qu'un bien plus grand nombre d'échantillons et des cargaisons plus importantes de chair congelée aient été livrés de manière ininterrompue pendant un an ou deux sur certains marchés potentiels pour que l'on se trouve à même de faire des prévisions de prix valables pour l'évaluation du projet. Une entreprise polonaise est disposée à vendre le produit au prix moyen de 2 500 dollars E.-U. la tonne au cours de la première phase de la campagne de pêche expérimentale. Cela supposerait une perte financière de 1 050 dollars E.-U. par tonne. L'entreprise est prête à y faire face pendant un an ou deux, car elle est certaine qu'elle pourra rétablir la situation et réaliser des bénéfices une fois que le nouveau produit se sera fait une place sur le marché.

Un problème différent se pose avec un produit fabriqué à l'échelle expérimentale en Union Soviétique depuis plusieurs années. Ses propriétés organoleptiques sont très bonnes et, de ce point de vue, il ressemble beaucoup à la crevette. Il se peut qu'il puisse être lancé plus facilement et plus rapidement sur le marché de la crevette que la chair de queue de krill présentée en blocs congelés. Toutefois, le prix de détail du produit sur le marché intérieur de l'URSS est très élevé, car il n'est pas seulement épluché mais aussi mis en conserve en mer. On ne sait pas si le prix qui pourrait être obtenu sur le marché mondial de la crevette permettrait de couvrir les coûts de production.

5.3.3 Problèmes liés à l'estimation de l'offre et de la demande

Ainsi qu'il ressort des sections précédentes, la présente étude intéresse au premier chef un produit de haute qualité et de faible volume. Cette manière d'envisager l'utilisation du krill, au moins au stade initial, se fonde sur le raisonnement ci-après.

En premier lieu, la capture et la transformation du krill sont une entreprise à fort coefficient de capital. Les énormes mises de fonds nécessaires pour commencer les opérations de capture sont impossibles à amortir en vendant un produit bon marché.

En deuxième lieu, une production quantitativement peu importante ne risque pas d'avoir une forte incidence sur l'état des ressources; il est nécessaire de s'en tenir à une telle approche tant que l'on ne sera pas en mesure d'évaluer avec précision la capture totale qui peut être autorisée et de la répartir entre les pays candidats à des contingents de capture.

En troisième lieu, de l'avis du producteur possible, à savoir la Société Dalmor, il semble que la seule option actuellement viable soit la fabrication d'un petit volume d'articles de haute qualité.

Produits destinés à la consommation humaine

Les offres reçues par l'entreprise polonaise semblent indiquer que plusieurs milliers de tonnes de chair de queue de krill pourraient être fournies au marché nord-américain dès 1985. Quelques entrepreneurs des Etats-Unis ont déterminé les diverses formes que pourraient prendre les produits finals livrés aux détaillants et aux acheteurs institutionnels. Sur cette base, on estime que les Etats-Unis sont le pays qui offrirait le meilleur marché, aussi bien du point de vue du volume de la demande que de la vitesse à laquelle les produits finis vendus au détail et les plats destinés à l'industrie de la restauration pourraient être introduits. La période de lancement sur le marché américain devrait donc être brève (un ou deux ans), ce qui est bien sûr dans l'intérêt du producteur. Si la première phase de l'expérience est couronnée de succès, l'entreprise espère passer à la seconde sans prendre de risques financiers excessifs, en connaissant déjà le prix et la demande effective du nouveau produit semi-fini livré aux transformateurs à terre.

Selon certaines références bibliographiques quelques sociétés de pêche japonaises étudient également depuis 1982 la possibilité de fournir de la chair de queue de krill épluchée sur rouleaux au marché des Etats-Unis. On ne possède aucun détail sur les résultats de ces tentatives et il est donc impossible de dire si les évaluations japonaises des prix et de la demande sont analogues aux évaluations polonaises. Jusqu'à maintenant, seules quelques estimations approximatives effectuées sur la base des résultats des années précédentes ont été publiées. Ainsi, Mitchell et Sandbrook estiment que la chair de queue de krill pourrait s'attribuer une part d'à peu près 10 pour cent du marché de la crevette de consommation, soit environ 60 000 t par an. Ces auteurs sont également d'avis que: "un système de transformation permettant d'accroître les dimensions des unités produites en vue de la fabrication d'un article d'usage courant ouvrirait des perspectives très intéressantes sur les marchés susceptibles d'absorber de gros volumes". McWhinnie et Denys (1978) ont estimé la demande du seul marché japonais à 20 000-30 000 t par an pour la préparation du kamaboko.

Indépendamment de ces estimations générales, il n'existe aucune projection scientifique fiable de la demande, que ce soit pour la chair de queue de krill ou pour le krill haché et autres produits destinés à la consommation humaine. Semblables prévisions ne seront possibles que sur la base des résultats d'un approvisionnement régulier de certains marchés.

Il semble que la tentative polonaise, à savoir la fabrication d'un produit par une entreprise d'un pays donné aux fins de la vente sur les marchés d'autres pays, soit le meilleur moyen de déterminer la demande. De cette manière, le problème prend un caractère international ce qui permet le libre jeu des forces du marché. Cette démarche vaut probablement mieux que de tenter de résoudre dans un pays isolé toutes les difficultés liées à la production, à l'approvisionnement et à l'économie des opérations de pêche. Il arrive souvent que le volume de la demande et le prix d'un produit donné dans un certain pays ne soient pas les mêmes que dans un autre pays ou sur un autre continent (il en est ainsi par exemple pour le krill entier congelé).

C'est pour cette raison que l'entreprise polonaise a l'intention de prendre d'autres contacts en vue d'approvisionner, outre les transformateurs de crevettes des Etats-Unis, les pays de la CEE et, peut-être, le Japon. Lorsque l'on veut lancer des produits nouveaux, il est conseillable de viser plus d'un seul marché. On pense que la chair de queue de krill pourrait combler le déficit de l'offre de certaines crevettes d'eaux froides qui existe depuis quelques années en conséquence de la diminution des stocks de l'espèce Pandalus dans l'Atlantique nord. Il faut également tenir compte du fait que, sur certains marchés de la crevette, la demande est extrêmement sensible aux variations des prix. De manière générale, un relèvement du prix national de la crevette a toutes chances d'entraîner une demande accrue de petites crevettes meilleur marché et l'utilisation de produits de remplacement concurrents.

Au cours de la période 1985-90, il pourrait donc arriver dans plusieurs cas que certains consommateurs de crevettes achètent de la chair de queue de krill à la place de crevettes parce que la première coûte moins cher. Cela pourrait se traduire par une demande soudaine de produits du krill, sous réserve qu'ils soient faciles à trouver sur le marché. Il faut que quelqu'un assume la tâche difficile de faire connaître la chair de queue de krill au consommateur. L'entreprise polonaise a l'intention de participer à ces campagnes de promotion en effectuant elle-même les premières livraisons à ses propres risques. Néanmoins, elle aura besoin de partenaires sur les marchés de la crevette dans un nombre minimum de pays.

De même que la demande, l'offre potentielle de chair de queue de krill et autres produits destinés à la consommation humaine est encore difficile à évaluer précisément. S'il est possible d'obtenir un prix de 2,50 à 3,0 dollars E.-U. le kilo pour les blocs de chair de queue dans les ports de débarquement des Etats-Unis, de l'Europe ou du Japon, l'entreprise pourrait construire un nombre convenable d'éplucheuses à krill et adapter des bateaux supplémentaires à la capture et à la transformation du krill. De cette manière, une unique entreprise pourrait être à même de produire annuellement environ 5 000 t de chair de queue de krill, ce qui serait le point de départ d'une exploitation régulière et profitable de la ressource. Il est possible que d'autres entreprises de pêche polonaises soient disposées à y participer.

Toutefois, on ne sait pas combien d'entreprises de pêche d'autres pays s'intéresseraient à la production de chair de queue de krill dont le prix de vente au détail serait de 2 500 dollars E.-U. la tonne et quelle puissance de pêche elles seraient disposées à consacrer au krill. Le seuil de rentabilité justifiant le démarrage d'opérations de pêche pourrait être supérieur à 2 500 dollars E.-U. par tonne.

Dans le modèle d'exploitation présenté à la section précédente, le chalutier-usine capture du poisson et de l'encornet pendant les six mois consécutifs à la saison du krill. La valeur marchande du poisson et de l'encornet capturés couvre les coûts de six mois d'utilisation du navire pour la pêche du krill. La possibilité d'exploiter le chalutier-usine d'un bout à l'autre de l'année s'explique dans une certaine mesure par la proximité du port de base et, principalement, par la présence à proximité des fonds de pêche de navires auxiliaires rendant les services nécessaires. C'est pour cette raison que le nombre annuel de jours de pêche est élevé. Toutefois, il se peut qu'une autre société de pêche ne bénéficie pas de conditions aussi favorables. Lorsque le point de départ des opérations de pêche se trouvera dans des ports lointains de l'Europe, des Etats-Unis ou du Japon, le nombre de jours de mer augmentera, tandis que le nombre de jours de pêche et la production diminueront, si bien que le coût unitaire de la chair de queue de krill sera très supérieur à celui calculé pour l'option décrite ici. Cela pourrait décourager certaines entreprises de pêche d'exploiter les stocks de krill, la conséquence étant que l'offre de produits dérivés du krill destinés à la consommation humaine restera peu importante pendant un certain nombre d'années.

Produits destinés à l'alimentation animale

Le problème de la demande de farine de krill est tout à fait distinct. Les ressources de matière première pour la production de farine de poisson sont limitées. Par suite, à l'horizon 1990, rien ne permet de penser que la production annuelle de farine de poisson puisse dépasser 4,6 millions de tonnes, tandis que la demande potentielle pourrait augmenter, en particulier dans quelques pays en développement. L'introduction sur le marché mondial de quantités considérables (par exemple un million de tonnes) d'un produit de remplacement tel que la farine de krill pourrait donc offrir de bonnes perspectives. Les ressources de krill sont extrêmement abondantes et la technique de réduction en farine est désormais maîtrisée. Pourquoi donc ne pas tirer parti d'une possibilité aussi intéressante?

Et pourtant, les échanges mondiaux de farine de krill n'ont même pas augmenté de 1 pour cent entre 1980 et 1984. Les prix de la farine de poisson ont commencé à baisser en 1977 pour tomber au-dessous de 400 dollars E.-U. la tonne, et les stocks ont considérablement augmenté. L'Organisation des exportateurs de farine de poisson (FEO) estime que les années 1981-84 ont marqué une période de stagnation dans le monde entier.

Cette situation est exposée en détail dans les rapports annuels de cette organisation, ainsi que dans l'étude BAD/FAO - INFOFISH: Le marché mondial de la farine de poisson et

la région Asie/Pacifique, mars 1983. Selon ces rapports, jusqu'en 1990, le seul produit susceptible de concurrencer la farine de poisson pourrait être la farine de soja. La production mondiale devrait passer de 82,2 millions de tonnes en 1980 à environ 125 millions de tonnes en 1990, avec un taux de croissance moyen de 4,3 pour cent entre 1985 et 1990.

On ne peut donc escompter que la production de farine de krill représente une proportion notable (par exemple 5 pour cent) de la production mondiale de farine de poisson au cours de la période 1985-90. Il est également douteux que la farine de krill occupe une place importante dans les échanges mondiaux de farine de poisson avant l'an 2000 (voir section 5.3.2). Toutefois, certaines quantités de farine de krill seront obtenues en tant que sous-produit de la fabrication d'articles destinés à la consommation humaine: elles seront utilisées par les pays qui pratiquent la pêche du krill et ne joueront pas un rôle important sur le marché mondial.

## 6. CONCLUSIONS

Pendant les années 1980 à 1984, l'intérêt manifesté dans le monde pour les ressources de krill a été bien moindre qu'en 1975-79, période au cours de laquelle de nombreuses études publiées par des institutions internationales, gouvernementales ou privées affirmaient que l'exploitation de cette ressource permettrait non seulement de réduire le déficit de protéines animales mais aussi d'atténuer le problème de la sous-alimentation dans certains pays.

Pendant les années quatre-vingt, l'accroissement progressif escompté des captures de krill ne s'est pas produit, ce qui s'explique peut-être par le fait que les produits du krill ne se sont pas révélés économiquement viables. Toutefois, les recherches sur l'utilisation du krill sont devenues plus sélectives; elles se sont concentrées sur la mise au point d'articles destinés à la consommation humaine et celle de leurs modalités de production, en vue de déterminer les systèmes de transformation rentables. Les résultats de ces recherches pourraient servir de base pour choisir entre les diverses options et estimer le volume possible des opérations commerciales d'exploitation du krill, par exemple jusqu'en 1995.

Les difficultés que soulève encore l'utilisation du krill de l'Antarctique pour la consommation humaine, pour l'alimentation animale et pour la fabrication d'autres produits sont plus grandes que dans le cas d'autres matières premières animales d'origine marine. En outre, pour ce qui est des produits destinés à l'alimentation humaine et, en partie aussi, des produits destinés à l'alimentation animale, on se heurte à un problème technique supplémentaire dont on ne s'était pas rendu compte auparavant, du fait de la teneur élevée en fluor de la matière première et de certains produits dérivés.

Néanmoins, grâce aux recherches entreprises dans divers pays depuis un certain nombre d'années, on a atteint le stade où il est possible d'entreprendre et développer la transformation du krill à bord des navires pour la fabrication des produits alimentaires ci-après: chair de queue, conserves et produits hachés.

On pense maintenant que les techniques mises au point au Japon, en Pologne et en URSS pour la production de chair de queue de krill, notamment par épluchage sur rouleaux et par attrition/flottation, pourront servir de base à une exploitation rentable des ressources de krill.

Si l'on veut développer les opérations commerciales de pêche du krill aux fins de la production de chair de la queue, il faut que deux préalables du modèle d'exploitation avec des chalutiers décrit dans la présente étude soient satisfaits.

En premier lieu, il faut que la chair de queue de krill soit acceptée sur le marché en tant qu'analogue ou que produit de remplacement des crevettes de petite taille. En deuxième lieu, il est indispensable que les conditions prévues dans les systèmes d'exploitation mis au point en Pologne soient remplies, autrement dit il ne faut pas que le coût des opérations de pêche et de transformation du krill soit supérieur au prix du marché pour les petites crevettes. On escompte que les résultats des opérations de pêche expérimentale du krill entreprises par la Pologne, ainsi que par le Japon et l'URSS, dans le but

d'intensifier la production de chair de queue, indiqueront dans les deux ou trois prochaines années le degré de validité des hypothèses qui ont été faites en ce qui concerne les marchés potentiels, les prix et la demande de ces produits.

Rien ne semble justifier une exploitation intensive des ressources dans le seul but de produire de la farine de krill ou des aliments pour animaux à base de krill entier.

Il est probable que dans l'avenir, le krill capturé sera surtout destiné à la fabrication de petits volumes d'articles de haute qualité destinés à la consommation humaine. Le krill congelé frais et bouilli destiné aux marchés régionaux de certains pays d'Extrême-Orient sera une exception à cette règle. Il existe de graves obstacles économiques à un développement de la production sur une grande échelle qui viserait à accroître l'offre d'aliments protéiques hautement transformés dans les pays en développement.

Le prélèvement effectué sur les ressources de krill conformément au modèle d'exploitation dont nous avons donné un aperçu est relativement faible et ne devrait pas causer de perturbations dans l'écosystème de l'Antarctique: cette considération est d'autant plus importante que la question de l'estimation de la biomasse du krill et de la capture totale à autoriser est encore controversée.

## 7. REFERENCES

Andreev, M.P., V.P. Bykov et V.M. Smirnov, Investigation of the influence of post-mortem
1981 in krill on the quality of processed flesh. En Krill processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 68-72 (en russe avec résumé en anglais)

Artiukhova, S.A. et A.V. Kapitanova, Research in the reasons of the formation of stru-
1981 vite crystals in the tinned foods-krill protein natural. En Research in technological characterization and processing of Antarctic krill, edité par M.S. Bidenko. Kaliningrad, AtlantNIRO, pp. 34-9 (en russe avec résumé en anglais)

Bidenko, M.S., T.A. Rasulova et A.B. Odintsov, On the activity of proteolytic ferments of
1981 Antarctic krill. En Research in technological characterization and processing of Antarctic krill, edité par M.S. Bidenko. Kaliningrad, AtlantNIRO, pp. 15-8 (en russe avec résumé en anglais)

Bobrovskaya, N.D., A.V. Kardashev et G.A. Vaitman, The study of the activity of proteo-
1981 lytic and lipolytic enzymes of krill. En Krill processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 16-20 (en russe avec résumé en anglais)

Boeva, N.P., Quality and nutritive value of krill meal processed by different methods.
1981 En Krill processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 88-91 (en russe avec résumé en anglais)

Bogdanov, A.S. et T.G. Luybimova, Soviet studies on krill in the South Ocean. Rybn.Khoz.,
1978 10:6-9 (en russe)

Boone, R.J. et M. Manthey, The anatomical distribution of fluoride within various body
1983 segments and organs of Antarctic krill. Arch.Fischereiwiss., 34(1):81-5

Brzeski, M.M., Concept of chitin/chitosan isolation from Antarctic krill shells on a
1982 technical scale. En Proceedings of the Second International Conference on Chitin and Chitosan, July 12-14, Sapporo, Japan, edité par S. Hirano and S. Tokura. Tottori, Tottori University, Japanese Society of Chitin and Chitosan, pp. 15-20

Brzozowska, E., *et al.*, The application of krill semiproducts in non-fish dishes regarding
1979 sensoric and physicochemical properties. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb.,Gdynia (Ser.S.-Symp.), (1) vol.1:259-305 (en polonais avec résumé en anglais)

Bucholz, F., Die Dynamik des Fluoridegehalte im Hautungszyklus der Euhausiiden. Ber.
1982 Polarforsch., 10:34-40

Bykov, V.P. et A. Ya Storozhuk, The chemical composition and technological characteris-
1981 tics of krill. En Krill processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 7-16 (en russe avec résumé en anglais)

Bykova, V.M. et T.N. Radakova, Changes in the properties of pre-cooked frozen krill flesh
1981 during the storage. En Krill processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 72-4 (en russe avec résumé en anglais)

Bykova, V.M., T.N. Radakova et A.V. Kartintsev, Packaging of pre-cooked frozen krill meat.
1981 En Krill processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou,VNIRO, pp. 75-8 (en russe avec résumé en anglais)

Bykowski, P., Fluoride in Antarctic krill. Tech.Gospod.Morsk., 30(5):232 (en polonais
1980 avec resumé en anglais)

__________, Trends and development possibilities of technologies of meal production
1982 from Antarctic krill. Tech.Gospod.Morsk., 32(1):25-6 (en polonais avec résumé en anglais)

__________ Some problems concerning the utilization of Antarctic krill. Tech.Gospod.
1982a Morsk., 32(3):133-4 (en polonais avec résumé en anglais)

Bykowski, P. et D. Dutkiewicz, Krill processing breakthrough. Document presenté à la
1984 Shellfish International Conference, Jersey, UK, May, 12 p. (mimeo)

Bykowski, P. et W. Kolodziejski, Properties of krill meat peeled by roller method. Biul.
1983 Morsk.Inst.Ryb./Bull.Sea Fish.Inst.,Gdynia, 14(5-6):53-7 (en polonais avec résumé en anglais)

Bykowski, P., S. Kostuch et M. Kowakzuk, The presence of fluoride in feed meals. Med.
1981 Wet, 10(27):609-10 (en polonais avec résumé en anglais)

Bykowski, P., *et al.*, Preliminary estimates on the quality and shelf life of the krill meat
1980 En Advances in fish science and technology edité par J.J. Connell. Farnham, Surrey, Fishing News Books Ltd., pp. 308-11

Christians, O., Development of maturated krill sausage. En Advances in fish science and
1980 technology, edité par J.J. Connell, Farnham, Surrey, Fishing News Books Ltd., pp. 322-4

__________ Technologische Problems der Krillverarbeitung unter dem Aspekt hoher F-Gehal.
1982 Ber.Polarforsch., 10:58-60

Christians, O. et M. Leinemann, Untersuchungen uber Fluor im Krill. Inf.Fischwirtsch.,
1980 27(6):254-60

__________ Uber die Fluoridwangerung aus den Schalen in das Muskelfleisch bei gefrier-
1983 gelagertem antarktischen Krill in Abhangigkeit von der Lagertemperatur und -zeit. Arch.Fischereiwiss., 34(1):87-95

Christians, O., M. Leinemann et M. Manthey, Neue Erkentnisse uber den Fluoridgehalt im
1981 Krill. Inf.Fischwirtsch., 28(2):70-2

__________, Verarbeitung und Produktentwicklung. En Antarktis-Expedition 1981 der
1982 Bundesrepublik Deutschland mit FFS Walther Herwig. Arch.Fischereiwiss., 33 (Beiheft 1):143-70

Doi, T. et T. Kawamaki, The estimation of krill abundance in the Antarctic by the analy-
1979 sis of echogram. En Comprehensive report on the population of krill in the Antarctic. Tokyo, Tokai Regional Fisheries Research Laboratory, pp. 23-33

Dunajski, E. et J. Grabowska, The characteristics of the krill meat obtained by the Dalmor
1979 method and the assessment of its technological properties. En Antarctic krill-processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb., Gdynia (Ser. S-Symp.), (1)vol.1:82-103 (en polonais avec résumé en anglais)

EEC, On the fixing of maximum permitted levels of undesirable substances and products in
1973 feeding stuffs. Council Directive of 17th December 1973. Off.J.Eur.Commun., (L38/31)

Eddie, G.C., The harvesting of krill. Southern Ocean Fisheries Survey Programme. Rome,
1977 FAO, GLO/SO/77/2:76 p. Publié aussi en espagnol

Ellingsen, T.E. et V. Mohr, Antarctic krill. Biochemical and technological studies.
1981 Lipids. Trondheim, Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim, 109 p. (en norvégien avec résumé en anglais)

Everson, I., The living resources of the Southern Ocean. Southern Ocean Fisheries Survey
1977 Programme. Rome, FAO, GLO/SO/77/1:156 p. Publié aussi en espagnol

FAO, Yearbook of fishery statistics. Annuaire statistique des pêches. Anuario estadís-
1984 tico de pesca. Catches and landings. Captures et quantités débarquées. Capturas y desembarques, 1982. Yearb.Fish.Stat./Annu.Stat.Pêches/Anu.Estad. Pesca, (54):393 p.

Fradet, G., Evaluation of chitosan as a new hemostatic agent. En The Proceedings of the
1985 Third International Conference on Chitin/Chitosan (en presse)

Galas, E., *et al.*, Initial studies on krill enzymatic system. En Antarctic krill -
1979 processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb.,Gdynia(Ser.S-Symp.) (1)vol.1:336-58 (en polonais avec résumé en anglais)

Ganowiak, Z., Bacteriological analysis of raw krill and krill products during processing
1979 and storage. En Antarctic krill processing and utilization. Stud.Mater. Morsk.Inst.Ryb.,Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.1:172-87 (en polonais avec résumé en anglais)

Goryczko, K. et B. Gliszczyński, Investigations of possible uses of frozen krill and krill
1981 meal in feeding of rainbow trout. Rocz.Nauk Roln.(H), 99(4):7-23

Grantham, G.J., The utilization of krill. Southern Ocean Fisheries Survey Programme.
1977 Rome, FAO, GLO/SO/77/3:61 p. Publié aussi en espagnol

Grave, H., Fluoride content of salmonids fed on Antarctic krill. Aquaculture, 24:191-6
1981

Gulland, J.A., The development of the resources of the Antarctic seas. En Antarctic
1970 ecology, edité par M.W. Holdgate. Londres, Academic Press, vol.1:217-23

__________ The development of fisheries and stock assessment of resources in the
1983 Southern Ocean. En Proceedings of the Biomass Colloquium in 1982, edité par T. Nemoto and T. Matsuda. Mem.Natl.Inst.Polar Res.,Tokyo, (27):233-46

Hempel, G. et M. Manthey, On the fluoride content of larval krill. Meeresforschung/Rep.
1981 Mar.Res., 29:60-3

Heyerdahl, E.G., Hval indistiren: en teknisk-kjemisk undersokelse. Oslo, A.W. Broggers
1932 boktrykken

Horbowska, A., S. Matyka et M. Dobrzycka, Characterization of krill meal as a component
1979 for formula feed. En Antarctic krill - processing and utilization. Stud. Mater.Morsk.Inst.Ryb.,Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.2:77-8 (en polonais avec résumé en anglais)

Jiang, S.T., Effects of pretreatments on improving the quality of frozen Antarctic krill.
1980 J.Chin.Agric.Chem.Soc., 18(1/2):70-6 (en chinois avec résumé en anglais)

Kalinowski, J., Biomass/Fibex - international investigations of krill stocks. Biul.Morsk.
1983 Inst.Ryb./Bull.Sea Fish.Inst.,Gdynia, 14(5-6):14-20 (en polonais avec résumé en anglais)

Kalinowski, J. et Z. Witek, An attempt at an estimation of the stocks of Antarctic krill.
1983 Biul.Morsk.Inst.Ryb./Bull.Sea Fish.Inst.,Gdynia, 14(5-6):34-6 (en polonais avec résumé en anglais)

Karnicki, Z., The possibilities of krill utilization. En Antarctic krill - processing and
1979 utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb.,Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.1:7-24 (en polonais avec résumé en anglais)

Kartintsev, A.V., Microflora of krill. En Krill processing technology, edited by
1981 V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 38-40 (en russe avec résumé en anglais)

Kelly, M.E., S. Lukaschevsky et C.G. Anderson, Bacterial flora of Antarctic krill and
1978 some of their enzymatic properties. J.Food Sci., 43:1196-9

Knorr, D., Use of chitosan polymers in food. Food Technol.,Chicago, 38(1):85-9, 92-7
1984

Kolakowski, E., Specific character of krill as raw material and its possible processing
1982 into food. Przem.Spozyw., 36(3):89-92 (en polonais)

Kolakowski, E. et K. Lachowicz, Application of partial autoproteolysis to extraction of
1982 protein from Antarctic krill. Part 3. Changes in yield of nitrogen substances during autoproteolysis of fresh and frozen krill. Nahrung, 26(10):933-9

Kolakowski, E., M. Fik et L. Gajowiecki, Pat.PRL nr. 109819 (P:196110)
1977

Kolakowski, E., *et al.*, Application of partial autoproteolysis to extraction of protein
1980 from Antarctic krill. Part 1. Effect of pH on protein extraction intensity. Nahrung, 24(6):499-506

________ Application of partial autoproteolysis to extraction of protein from
1980a Antarctic krill. Part 2. Influence of temperature on protein extraction intensity. Nahrung, 24(6):507-12

________, Technology of obtaining a protein precipitate from krill in the light of
1984 industrial investigations on a B-414 vessel. Biul.Morsk.Inst.Ryb./Bull.Sea Fish.Inst.,Gdynia, 15(102):45-57 (en polonais avec résumé en anglais)

Kolodziej, K. *et al.*, Krill meal production technology. En Antarctic krill - processing
1979 and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb.,Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.2: 20-8 (en polonais avec résumé en anglais)

Kolodziejski, W., *et al.*, Technological properties of krill and problems of its preliminary
1979 preservation and processing on board. En Antarctic krill - processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb.,Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.1:25-39 (en polonais avec résumé en anglais)

Konagaya, S., Protease activity and autolysis of Antarctic krill. Bull.Jap.Soc.Sci.Fish.,
1980 46(2):175-83 (en japonais avec résumé en anglais)

Koops, H., *et al.*, Krill in trout diets. En Finfish nutrition and fish feed technology,
1979 edité par J.B. Halver et K. Tiews. Schr.Bundesforschungsanst.Fisch.Hamb., (14/15) vol.2:281-92

Krasnodebska, I., P. Hanczakowski et J. Korelewski, Estimation of nutritive value of krill
1979 meal. En Antarctic krill - processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb.,Gdynia(Ser.S-Symp.), (2)vol.2:60-66 (en polonais avec résumé en anglais)

Krepa, J., Techniques of catching Antarctic krill. Biul.Morsk.Inst.Ryb./Bull.Sea Fish.
1983 Inst.,Gdynia, 14(5-6):50-3 (en polonais avec résumé en anglais)

Kubota, K., *et al.*, Odour of dried shell powder of Antarctic krill and liquid seasoning of
1980 the hydolysate. J.Agric.Chem.Soc.Jap., 54(9):727-31 (en japonais avec résumé en anglais)

__________, Cooked odour of Antarctic krill v. effect of precooking. J.Jap.Soc.Food
1981 Sci.Technol., 28(8):457-60 (en japonais avec résumé en anglais)

Lagunov, L.L., *et al.*, Main lines of using the krill paste "Ocean" for production of food
1981 products. En Krill processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 53-6 (en russe avec résumé en anglais)

Lyubimova, T.C., A.G. Naumov et L.L. Lagunov, Prospects of the utilization of krill and
1973 other unconventional resources of the world ocean. J.Fish.Res.Board Can., 30(12)Pt.2:2196-201

Maksimov, S.I., *et al.*, Investigations of production methods and substantiation of the
1981 optimum technological process of krill meal. En Krill processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 78-87 (en russe avec résumé en anglais)

Markowski, B.J., Preliminary characteristic of Antarctic krill coagulate. En Antarctic
1979 krill - processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb., Gdynia(Ser. S-Symp.), (1)vol.1:52-63 (en polonais avec résumé en anglais)

__________ Comperative characteristics of the semiproducts from Antarctic krill. En
1979a Antarctic krill - processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb., Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.1:64-81 (en polonais avec résumé en anglais)

Marr, J.W.S., The natural history and geography of the Antarctic krill. Discovery Rep.,
1962 (32):33-464

McElroy, J.K., The economics of harvesting krill. En The management of the Southern
1980 Ocean edité par B. Mitchell and R. Sandbrook. Londres, International Institute for Environment and Development, pp. 81-103

__________, The potential of krill as a commercial catch. En The management of the
1980a Southern Ocean, edité par B. Mitchell et R. Sandbrook. Londres, International Institute for Environment and Development, pp. 60-80

__________, Economic evaluation of krill fishing systems. En Advances in fish science
1980b and technology, edité par J.J. Connell. Farnham, Surrey, Fishing News Books Ltd., pp. 314-21

__________, The production and use of krill meal: a techno-economic appraisal. Document
1982 presenté au Scientific Committee Meeting of the International Association of Fish Meal Manufacturers, Windsor, UK, on 29 April 1982, 30 p. (mimeo)

McWhinnie, M.A. et C.J. Denys, Antarctic marine living resources with special reference
1978 to krill. Rapport presenté au National Science Foundation, De Paul University Chicago, 199 p.

Miller, E.L., Teneur en acides aminés assimilables des farines de poisson. FAO Rapp.
1970 Pêches, (92):68 p. Publié aussi en anglais et espagnol

Minta, M., T. Szprengier et B. Bienacki, Theratogenic and embryotoxic properties of
1979 krill meal. En Antarctic krill - processing and utilization. Stud.Mater. Morsk.Inst.Ryb., Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.2:126-31 (en polonais avec résumé en anglais)

Mitchell, B. et R. Sandbrook, The management of the Southern Ocean. Londres, International
1980 Institute for Environment and Development, 162 p.

Mitskevitch, L.G. et V.V. Mosolov, The study of proteolytic enzymes of krill. En Krill
1981 processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 21-4 (en russe avec résumé en anglais)

Mrotchkov, K.A., *et al.*, Nutritive value of krill meal processed by press-drying and drying methods. En Krill processing technology, edited by V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 98-105 (en russe avec résumé en anglais)
1981

Muzzarelli, R.A.A., Chitin. Oxford, Pergamon Press, 87 p.
1977

Oehlenschlager, J. et M. Manthey, Fluoride content of Antarctic marine animals caught off Elephant Island. Polar Biol., 1:125-7
1982

Oshima, T. et F. Nagayama, Purification and properties of catechol oxidase from the Antarctic krill. Bull.Jap.Soc.Sci.Fish., 46(8):1035-42
1980

Park, Y.H., *et al.*, Studies on the utilization of Antarctic krill. 3. Processing and quality evaluation of salted and fermented krill. Bull.Korean Fish.Soc., 13(2):81-8
1980

__________ Studies on the utilization of Antarctic krill. 2. Processing of paste food, protein concentrate, seasoned dried product, powdered seasoning, meat balls and snacks. Bull.Korean Fish.Soc., 13(2):65-80
1980a

Pastuszewska, B., Appraisal of krill meal as a source of protein in animal feeding. Postepy Nauk Roln., (4):59-76
1979

__________ Prospects and effects of using krill meal in animal feeding. Gdynia, Morski Instytut Rybacki, 15 p. (mimeo) (en polonais)
1984

Pastuszewska, B. et E. Wyluda, The effect of krill meal application in rat feeding on health and breeding performance. En Antarctic krill - processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb., Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.2:117-25 (en polonais avec résumé en anglais)
1979

Pastuszewska, B., D. Lis et E. Wyluda, A study of factors affecting protein utilization of krill meal. En Antarctic krill - processing and utilization. Stud.Mater. Morsk.Inst.Ryb., Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.2:90-104 (en polonais avec résumé en anglais)
1979

Piekarska, J., *et al.*, The assessment of nutritive value of krill semi-products. En Antarctic krill - processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb., Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.2:128-36 (en polonais avec résumé en anglais)
1979

Rehbein, H., Amino acid composition and pepsin digestibility of krill meal. J.Agric.Food Chem., 29:682-4
1981

Reinacher, H., Zum Stand der Herstellung von Krillmehl und Fischmehl aus antarktischen Bestanden. Inf.Fischwirtsch., 25(2):67-8
1978

Russek, Z., Z. Kasprzyk et S. Szostak, Preliminary economic evaluation of commercial krill catches. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb., Gdynia, (42):100 p. (en polonais avec résumé en anglais)
1981

Rybalkina, G.N., *et al.*, Lipid composition of krill. En Research in technological characterization of Antarctic krill, edité par M.S. Bidenko. Kaliningrad, AtlantNIRO, pp. 25-9 (en russe avec resumé en anglais)
1981

Rzhavsakaya, F.M., The study of the lipid composition of krill. En Krill processing technology, edité par V.P. Bykov. Moscou, VNIRO, pp. 24-30 (en russe avec resumé en anglais)
1981

Saether, O., T. Ellingsen et V. Mohr, Antarctic krill. Biochemical and technological studies. Report 3. Lipid distribution. Trondheim, Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim, 40 p. (en norvégien avec résumé en anglais)
1983

Sawicki, J., The components of krill lipids, krill meal and wastes. En Antartic krill-
1979 processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb.,Gdynia,(Ser.S-Symp.), (1)vol.1:419-28 (en polonais avec résumé en anglais)

Schneppenheim, R., Concentration of fluoride in Antarctic animals. Meeresforschung/Rep.
1980 Mar.Res., 28:179-82

Schreiber, W., Krill-Rohstoff fur Neue Nahrungsmittel. Gordian, 78(4):101-5
1978

Schreiber, W., *et al.*, Untersuchungen an Krill. Herrstellung von Krillmehl fur Futtermittel
1979 Arch.Fischereiwiss., 30(Beiheft 1):110-1

__________, Die Verarbeitung von Krill zu Lebensmitteln. Hamburg, Bundesforschunganstalt
1981 fur Fischerei, Institut fur Biochemie und Technologie, 215 p.

Shibata, N., Studies on the protein of fresh krill, experiments on board. Bull.Tokai Reg.
1979 Fish.Res.Lab., (110):17-33 (en japonais avec résumé en anglais)

Siebert, G., *et al.*, Futterungstudie mit Krill an Ratten unter besonderer Berucksichtigung
1982 von Fluorid. Arch.Fischereiwiss., 32(1):43-57

Smirnov, V.M., L.S. Baydalinova et M.P. Andreev, Changing of krill quality during the
1981 process of freezing and refrigerating storage. En Research in technological characterization and processing of Antarctic krill, edité par M.S. Bidenko. Kaliningrad, AtlantNIRO, pp. 82-4 (en russe avec résumé en anglais)

Soevik, T. and O.R. Braekkan, Fluoride in Antarctic krill (*Euphausia superba*) and Atlantic
1979 krill (*Meganyctiphanes norvegica*). J.Fish.Res.Board Can., 36(11):1414-6

Suzuki, T., Fish and krill protein: processing technology. Londres, Applied Science
1981 Publishers Ltd., 260 p.

Tanaka, Y., T. Katayose et T. Katayama, Changes of carotenoids in Antarctic krill meal
1981 during storage. Mem.Fac.Fish.Kagoshima Univ., 30:295-9 (en japonais avec résumé en anglais)

Trzebiatowski, R., J. Domagala et J. Filipiak, Krill meal applicability in trout feeding.
1979 En Antarctic krill - processing and utilization. Stud.Mater.Morsk.Inst.Ryb., Gdynia(Ser.S-Symp.), (1)vol.2:313-29 (en polonais avec résumé en anglais)

Voronina, N.M., Biomass and production of Antarctic krill (*Euphausia superba dana*).
1983 Oceanology, 23(6):760-2. Publié aussi en russe en Okeanologiya, 23(6): 1015-7

Yanase, M., Chemical composition of the exoskeleton of Antarctic krill. Bull.Tokai Reg.
1975 Fish.Res.Lab., (83):1-6

Anon., FDA says krill is a food, not food additive. Food Chem.News, July 6 issue, p. 45
1981

__________, Restructured foods. Food Can., 43(3):24-5
1983

No: 11302

# L'aménagement de la pêche à Chypre

par
**S. García**
Chef du Service des ressources marines
Département des pêches de la FAO
et
**A. Demetropoulos**
Chef du Département des pêches,
Nicosie, Chypre